

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ПРОЕКТАХ УКРГИДРОПРОЕКТА

В статье приведен ряд инновационных решений, разработанных в проектах Укргидропроекта в разные временные периоды, включая низко и средненапорные здания ГЭС водосливного типа, расширение ДнепроГЭС, плотины различных типов, сооружения крупных ГАЭС в сложных инженерно-геологических условиях, Южно-Украинский энергокомплекс, ГЭС "Великая плотина Эфиопского возрождения" и др.

Ключевые слова: каскады, переброска стока, здание ГЭС водосливного типа, намывные плотины, откос пляжного типа, энергокомплексы.

История "Укргидропроекта" началась 90 лет назад, когда 25 мая 1927 года решением Президиума Высшего Совета народного хозяйства (ВСНХ) УССР было создано Бюро водных исследований в г. Харькове, тогдашней столице Украины.

Со временем Укргидропроект стал одной из ведущих фирм по проектированию гидроэнергетических и водохозяйственных объектов.

По проектам Укргидропроекта построены каскады ГЭС на Днепре и Днестре, ГАЭС Украины, крупные каналы междубассейновой переброски стока в Украине, а также с его участием в проектировании осуществлены и строятся ГЭС во Вьетнаме, Лаосе, Китае, Эфиопии, Грузии, Белоруссии и др. странах.

На протяжении всех этапов развития в фирме укреплялись традиции творческого отношения к работе с разработкой в проектах и внедрением инновационных решений. Проектируя сложные и уникальные сооружения в Укргидропроекте были разработаны и реализованы впервые многие новые прогрессивные решения, что обеспечило не только высокий технический уровень и экономическую эффективность, но и новое качество. Ниже приведен ряд таких решений, разработанных в разные временные периоды.

1. Гидроэлектростанции

1.1. Здания ГЭС водосливного типа.

Начиная с 50-х годов прошлого века, работа Укргидропроекта была связана с созданием в равнинных условиях каскадов ГЭС на Днепре и Днестре.

Здесь впервые в бывшем Со-

ветском Союзе были запроектированы и построены низконапорные ГЭС: Киевская мощностью 360 МВт (1968 г.) и Каневская мощностью 444 МВт (1975 г.) с горизонтальными капсульными агрегатами и водосливными зданиями ГЭС с водосбросами, расположенными над агрегатами (Рис. 1), (при расчетном сбросном расходе 16 тыс м³/с на Каневской ГЭС) без водосливных плотин и с широким применением сборного железобетона. Эти решения позволили уменьшить объемы работ, сократить сроки строительства. Многолетний опыт эксплуатации подтвердил их эффективность.

Для средненапорной Днестровской ГЭС мощностью 702 МВт (1983 г.) было запроектировано здание ГЭС водосливного типа с вертикальными агрегатами и поверхностным водосбросом, расположенным над машинным залом, с расчетным расходом 11,3 тыс. м³/с и высоте здания 80 м (Рис. 2), что позволило отказаться от водосливной плотины. При этом так же был обеспечен пропуск расходов воды реки в строительный период.

1.2. Расширение ДнепроГЭС

Одной из сложнейших работ была разработка и реализация проекта расширения ДнепроГЭС,

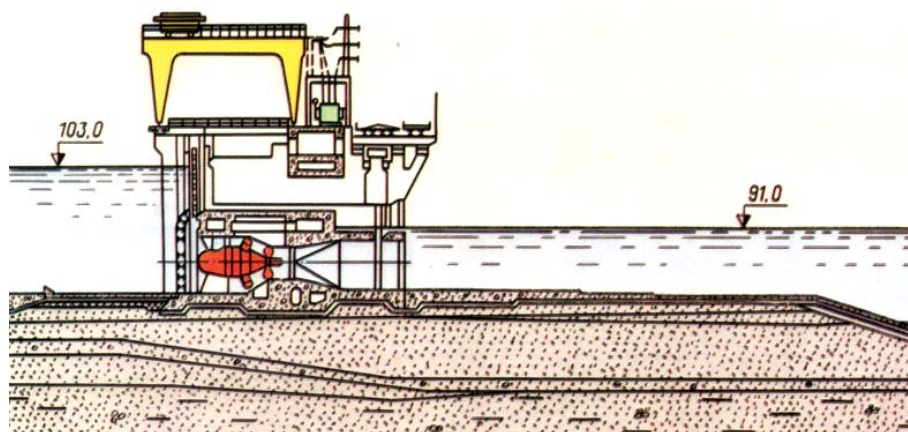


Рис. 1. Поперечный разрез по зданию Киевской ГЭС

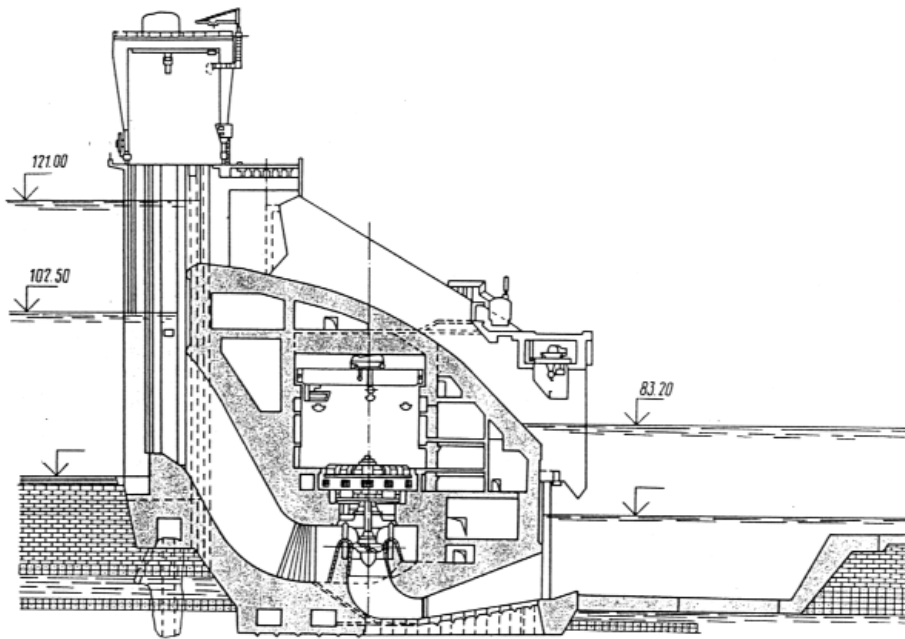


Рис. 2. Поперечный разрез по зданию Днестровской ГЭС

которое стало возможно после возведения выше-расположенной Кременчугской ГЭС с водохранилищем многолетнего регулирования, благодаря чему снизился в 1.5 раза максимальный расчетный паводковый расход и соответственно сократился водосливной фронт плотины. Это позволило в пределах освободившихся пролетов водосливной плотины непосредственно за ней разместить второе здание ГЭС с 8 агрегатами общей мощностью 828 МВт, подвод воды к которым осуществлялся железобетонными водоводами, размещенными на 16 пролетах плотины. При этом водосливные пролеты были переоборудованы в водоприемники ГЭС (Рис. 3).

Серьезные трудности, которые пришлось решать при проектировании, были вызваны:

- необходимостью сохранения в период строительства условий нормальной эксплуатации со-

оружений ГЭС, а также существующего моста и инженерных коммуникаций,

- разработкой взрывным способом котлована здания ГЭС глубиной 20 м на расстоянии всего 30 м от низовой грани бетонной плотины, находящейся под напором 50 м. При этом плотина во время войны дважды взрывалась и восстанавливалась, что требовало серьезного обоснования ее прочности и устойчивости в условиях строительства и необходимость постоянного контроля за ее состоянием,

- необходимостью конструктивно вписаться в контуры существующих сооружений,

обеспечить сопряжение и совместную работу новых конструкций со старыми,

- ограниченностью размеров строительной площадки в условиях сжатых сроков и параллельного ведения строительных работ по всему фронту.

Расширение ДнепроГЭС было выполнено в сжатые сроки в течение 4 лет (1975 г.).

Одновременно со вторым зданием ГЭС был запроектирован и построен уникальный однокамерный судоходный шлюз с высоким напором 38 м.

Уникальный опыт проектирования и строительства при расширении ДнепроГЭС актуален и сегодня при реализации аналогичных объектов.

В настоящее время комплекс сооружений ДнепроГЭС по инженерному замыслу и красоте воплощения является выдающимся архитектурным памятником (Рис. 4).

1.3. Увеличение мощности ГЭС GERPD

В проекте строящейся в настоящее время самой большой в Африке НРР Great Ethiopian Renaissance Power Dam (Эфиопия) были обоснованы и разработаны компоновочно-конструктивные решения зданий ГЭС с увеличением мощности ГЭС с 5250 МВт до 6000 МВт, с увеличением выработки электроэнергии и снижением стоимости. При этом 16 агрегатов мощностью по 375 МВт (расчетный

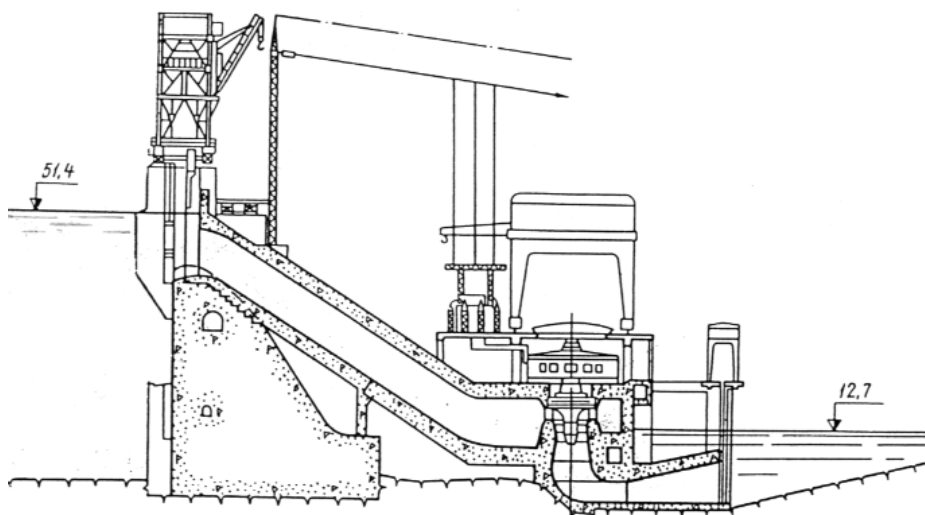


Рис. 3. Поперечный разрез по зданию ДнепроГЭС-2



напор 123 м) размещаются в двух приплотинных зданиях (фиг. 5): правобережном (10 агрегатов) и левобережном (6 агрегатов). Подвод воды от водоприемников к агрегатам осуществляется металлическими водоводами диаметром 8 м, расположенными в бетонной плотине. Предусматривается поэтапный ввод агрегатов с первоочередным вводом пускового комплекса из двух агрегатов при минимальном уровне воды водохранилища.

2. Плотины

2.1. Намывные плотины

Серьезной проблемой при строительстве ГЭС Днепровского каскада являлось выполнение грунтовых плотин в составе ГЭС и защитных дамб большой протяженности, что существенно влияло на сроки строительства. Так, на ГЭС каскада общая длина грунтовых плотин составила 79 км и защитных дамб — 355 км с общим объемом в сотни млн. кубов грунта. Большая протяженность сооружений и огромные объемы работ по укладке грунта потребовало разработки новых конструктивно-технологических подходов, обеспечивающих строительство таких грунтовых сооружений в проектные сроки. Была разработана эффективная технология возведения намывных плотин распластанного профиля высотой до 35 м из разнородных местных грунтов с устройством со стороны нижнего бьефа сооружения дрены в виде канала — карьера, с креплением верхового откоса плотины бетонными плитами и применением откоса "пляжного" типа без крепления. Использование этой технологии обеспечило полную комплексную механизацию и высокую интенсивность выполнения работ. Эти плотины успешно эксплуатируются длительное время, например, плотина Каховской ГЭС более 60 лет.

2.2. Каменно-набросные плотины

Для ряда гидроэнергетических объектов в Украине и за рубежом были запроектированы каменно-набросные плотины высотой до 100 м с ядром из глинистых материалов.

При проектировании Ташлыкской ГАЭС были разработаны новые конструктивно-технологические решения для плотины из щебня с отсыпкой его в воду эксплуатируемого водохранилища на глубину до 50 м и с созданием противофильтрационной завесы в центральной зоне плотины методом "струйной" цементации.

2.3. Новая конструкция высокой каменно-набросной плотины с асфальтобетонной диафрагмой

Одним из широко распространенных типов высоких плотин из грунтовых материалов являются каменно-набросные плотины с асфальтобе-

тонной диафрагмой, выполняемой из укатанного или литого асфальтобетона [1].

Основными тенденциями в строительстве таких плотин являются значительное повышение их высоты (до 200 м и более) при возведении во все более сложных природных условиях, включая суровые климатические условия, высокую сейсмичность, что требуют новых подходов с разработкой принципиально новых конструктивно-технологических решений.

При проектировании Канкунской плотины в России высотой 232 м, длиной 970 м с асфальтобетонной диафрагмой в суровых климатических условиях в зоне вечной мерзлоты (среднегодовой температура минус 10,5 С°) и высокой сейсмичности была разработана новая конструкция каменно-набросной плотины с составной асфальтобетонной диафрагмой (Рис. 6). Такая диафрагма состоит из верховой и низовой диафрагм, образованных сборными железобетонными плитами с покрытием наружных граней геомембраной из водонепроницаемой пленки. Внутренняя полость между верхней и нижней диафрагмами по мере возведения заполняется литым асфальтобетоном, образующим основной водонепроницаемый элемент (внутреннюю диафрагму). В нижней части и береговых примыканиях диафрагма опирается на бетонный фундамент. С верховой и низовой сторон диафрагма покрывается рулонным геотекстилем, к которому примыкают переходные зоны.

При возведении диафрагмы литой самоуплотняющийся асфальтобетон при температуре плюс 150–160 С° заливают слоями во внутреннюю полость, образованную сборными плитами, что позволяет полностью механизировать работы с использованием поточной технологии, ускорить возведение, обеспечить требуемое качество с возведением плотины в течение всего года без перерыва в зимний период в суровых климатических условиях.

Плиты, образующие верхнюю и нижнюю диафрагмы, устанавливаются одна на другую и впритык одна к другой. В швах между плитами предусматриваются прокладки из битумных матов. Вертикальные и горизонтальные швы между плитами перекрываются пленочным материалом с образованием сплошного водонепроницаемого контура, благодаря чему достигается их водонепроницаемость.

При этом гибкость диафрагмы в целом обеспечивается благодаря возможности перемещений сборных железобетонных плит в швах и пластическим свойствам асфальтобетона. К достоинствам предложенной конструкции диафрагмы сле-



Рис. 4. Общий вид ДнепроГЭС

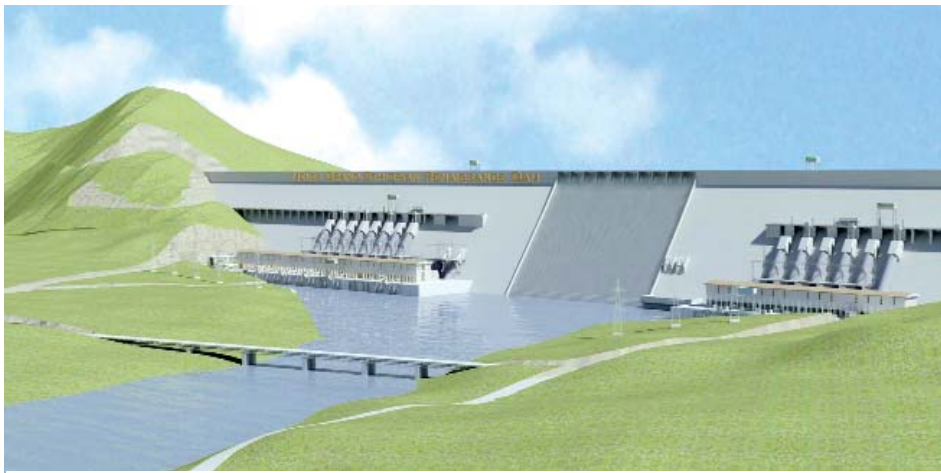


Рис. 5. Общий вид НРР GERPD

Кроме того, достигается значительное повышение надежности плотин благодаря созданию трех противофильтрационных контуров (из геомембран верхней и нижней диафрагм из плит и литого асфальтобетона между ними).

Для обоснования новой конструкции были выполнены расчеты термического режима, напряженно-деформированного состояния, прочности плотины и устойчивости ее откосов. Расчеты выполнялись с учетом последовательности возведения сооружения и наполнения водохранилища для ряда расчетных моментов времени в течение строительного периода и 100 лет эксплуатационного периода. При выполнении расчетов рассматривалась система "сооружение — основание". Учитывались упруго-пластические свойства каменной наброски тела плотины и основания в рамках теории Мора-Кулона, а также вязкоупругопластические свойства литого асфальтобетона. Эти свойства принимались в зависимости от температуры

и дует также отнести улучшение условий работы и напряженно-деформированного состояния асфальтобетона во внутренней полости, исключение возможности выдавливания битума из асфальтобетона в переходные слои при значительных напряжениях в диафрагмах высоких плотин.

материалов и в необходимых случаях с учетом фазовых переходов — замерзания и оттаивания воды в порах каменной наброски. Получено благоприятное напряженно-деформированное состояние диафрагмы, которое характеризуется отсут-

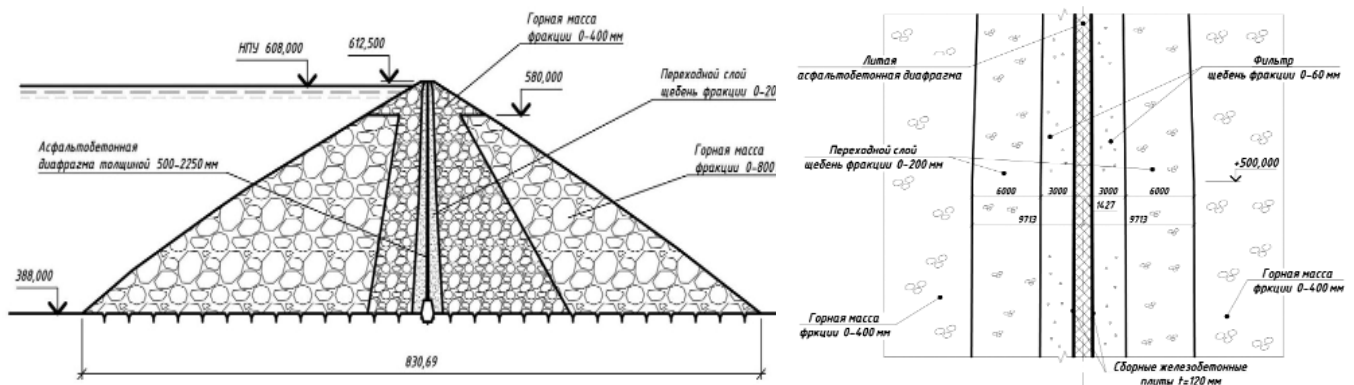


Рис. 6. Каменно-набросная плотина с асфальтобетонной диафрагмой; а — поперечный разрез; б — конструкция составной асфальтобетонной диафрагмы



ствием главных растягивающих напряжений и растягивающих деформаций в асфальтобетоне. Показано, что прочность плотины и устойчивость ее откосов обеспечены с нормативными запасами.

Применение такой конструкции плотины позволяет обеспечить высокую технологичность, надежность и безопасность высоких каменно-набросных плотин, возводимых в суровых климатических условиях.

2.4. Бетонные плотины

В начальный период внедрения плотин РСС (укатанный бетон) Укр-гидропроект участвовал в 1991 г. в проектировании в то время одной из крупнейших в мире плотин РСС Guanyinge (Китай), объемом 1.8 млн. м³, высотой 82 м, длиной 1040 м, строившейся в суровых климатических условиях. Для системы "сооружение – основание" были выполнены расчеты термического режима и напряженно-деформированного состояния плотины с учетом послойной укладки бетона. На основе этих расчетов были разработаны рекомендации по условиям возведения сооружения.

В дальнейшем был запроектирован ряд плотин РСС высотой до 100 м во Вьетнаме.

Были разработаны новые компоновочно-конструктивные решения плотины РСС с бетонным понуром с обеспечением их совместной работы [4], которые были ис-



Рис. 7. Вид с нижнего бьефа на арочную плотину Нам Чием

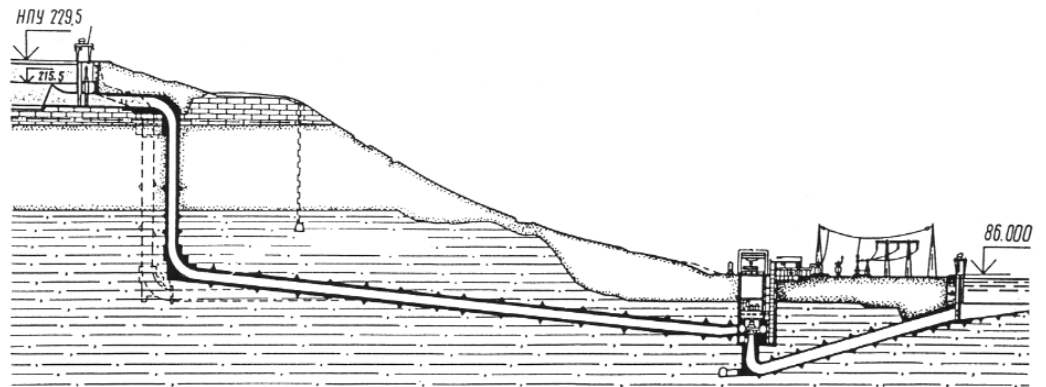


Рис. 8. Продольный разрез по водопроводящему тракту 3-го агрегата Днестровской ГАЭС

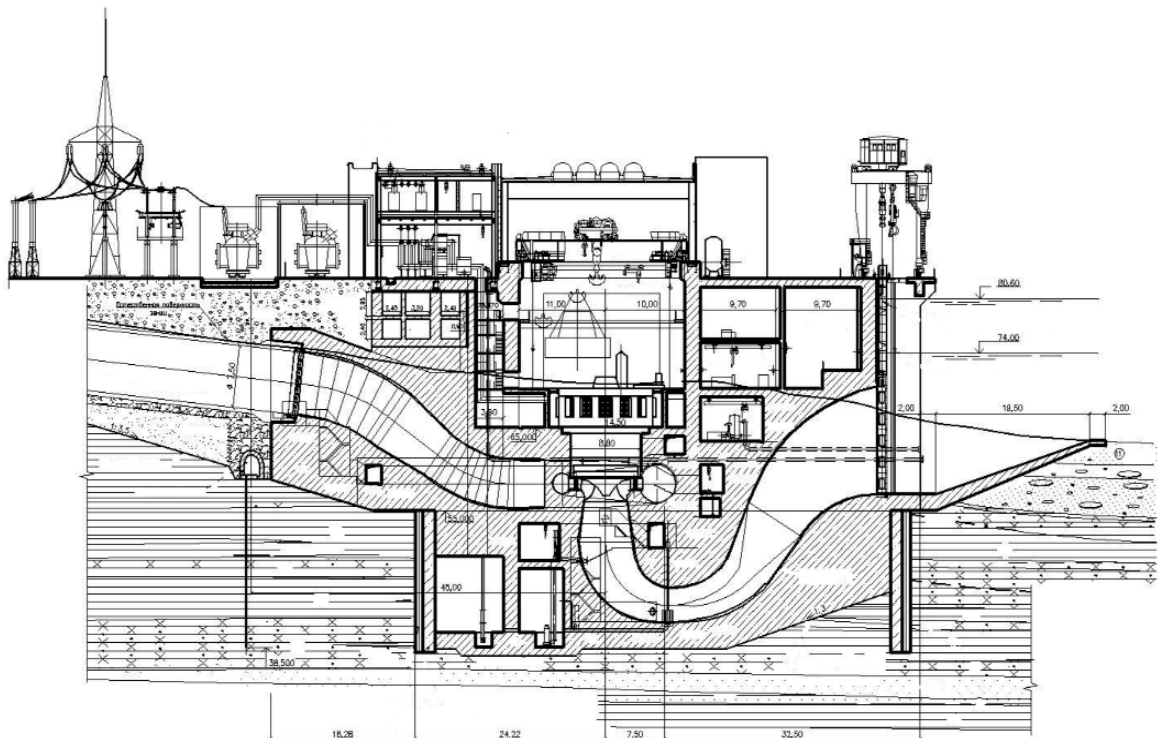


Рис. 9. Поперечный разрез по зданию Ленинградской ГАЭС на нескальном основании



пользованы на гидроузле Чентяньхэ (Китай) для увеличения высоты плотины и мощности ГЭС до 135 МВт. Разработанные компоновочно-конструктивные решения основаны на обеспечении совместной работы существующей контрфорсной плотины высотой 40 м и новой плотины РСС высотой 110 м, связанных арочным перекрытием.

В составе деривационной ГЭС Нам Чиен была запроектирована первая во Вьетнаме арочная купольная плотина, построенная в 2013 г., высотой 135 м, длиной по гребню 273 м, с водосливом на гребне (Рис. 7). Для обоснования конструкции и параметров этой плотины в рамках решения трехмерной задачи системы "сооружение — основание" были выполнены расчеты термического режима, напряженно-деформированного состояния и прочности в строительный и эксплуатационный периоды. Учитывалась последовательность возведения плотины и замоноличивания межстолбчатых швов, упруго-пластические свойства бетона и массива горных пород основания. Показано, что принятая конструкция плотины обеспечивает благоприятное напряженное состояние, при котором обеспечивается прочность бетона сооружения и материала основания, а также устойчивость береговых примыканий плотины.

3. Наплавные фундаменты под опоры линий электропередачи

Для устройства в эксплуатируемом Каховском водохранилище фундаментов под опоры линии электропередачи (ЛЭП) с напряжением 750 кВ были разработаны и осуществлены новые конструктивно-технологические решения. Фундаменты под опоры ЛЭП выполнялись в виде наплавных железобетонных ячеистых тонкостенных конструкций диаметром 40 м, высотой 12 м. Такие конструкции фундаментов вместе с установленными на них металлическими опорами высотой 150 м изготавливались в специальных котлованах-доках на берегу и наплавным способом транспортировались к месту установки (1982 г.).

4. Гидроаккумулирующие электростанции

Одним из важных направлений является обоснование разработки проектов крупных гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) в разнообразных природных условиях.

Так первая в бывшем Советском Союзе Киевская ГАЭС мощностью 236 МВт, напором 67 м была запроектирована и введена в эксплуатацию в 1972 г.

4.1. Днестровская ГАЭС

В настоящее время ведется строительство самой мощной в Европе Днестровской ГАЭС общей мощностью 2268 МВт с 7 обратимыми агрегатами

(из них 3 агрегата введены в эксплуатацию). В ГАЭС установлены уникальные одни их крупнейших в мире обратимых агрегатов мощностью в турбинном режиме 324 МВт при напоре 162 м и в насосном режиме — 421 МВт.

Расположение сооружения ГАЭС на площадке в зоне склона характеризующегося сложными инженерно-геологическими условиями, неоднородным строением, включая известняки, неогеновые песчано-глинистые отложения, алевролиты, песчаники и др., наличием старых оползневых тел, устойчивость которых близка к предельной, обусловило при проектировании выбор специфических компоновочно-конструктивных решений основных сооружений ГАЭС, включая (Рис. 8):

- выполнение здания ГАЭС в виде 7 отдельных шахт с расстоянием между осями 50 м, диаметром 26 м, высотой 50 м, в которых расположены гидроагрегаты и технологическое оборудование, с устройством над ними общего машинного зала,

- выполнения верхней части шахт в мягких грунтах глубиной до 20 м в виде опускного колодца, а нижней в полускальных грунтах и скальных породах — буровзрывным способом,

- подвод воды туннелями от водоприемника к зданию ГАЭС и от него к водовыпуску,

- пригрузку грунтом основания склона перед водоприемником.

Разработанные решения обеспечили:

- сохранность и устойчивость склона в зоне сооружений;

- благоприятные условия строительства с независимым выполнением строительно-монтажных работ в каждой шахте с вводом агрегатов поэтапно при уменьшении объемов работ;

- повышение безопасности эксплуатации в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

На верховом водоеме с большим полезным объемом 41.43 млн. м³ и глубиной сработки уровня воды 14 м для предотвращения фильтрации запроектирован и выполнен комбинированный экран из синтетической пленки толщиной 2 мм и слоя суглинка 1 м.

Опыт эксплуатации и результаты инструментальных наблюдений за состоянием сооружений и склона показывают их надежную работу в пределах проектных параметров.

4.2. ГАЭС на нескальных основаниях

При проектировании крупных ГАЭС в равнинных условиях на нескальных основаниях с напором в пределах 100 м, с размещением напорных водоводов на склонах, сложенных из неоднород-



ных грунтов, обоснование и выбором оптимальных конструктивно-компоновочных решений напорных водоводов и зданий ГАЭС имеет определяющее значение для обеспечения благоприятных условий и сокращенных сроков строительства, высокой эффективности и надежности эксплуатации.

В таких условиях в проектах Каневской ГАЭС с 4 обратимыми агрегатами мощностью 1000 мВт (Украина), Ленинградская ГАЭС с 8 обратимыми агрегатами мощностью 1560 мВт (Россия) были разработаны принципиально новые конструктивные решения засыпанных напорных сталежелезобетонных водоводов диаметром 7,5 м, длиной 700 м.

В таких водоводах при высоте засыпки над ними порядка 2,5 м каждая предыдущая секция водовода опирается на последующую секцию, имеющую горизонтальную поверхность операния, с обеспечением проскальзывания одной секции относительно другой и в целом совместной работы секций.

Для межсекционных швов разработана новая эффективная конструкция компенсаторов.

Такие засыпанные водоводы имеет существенные преимущества по сравнению с обычно применяющимися открытыми сталежелезобетонными водоводами на свайном основании, например, Загорской ГАЭС (Россия), в том числе:

- улучшение условий производства и уменьшение объемов работ с исключением трудоемких работ по устройству свайного поля;

- улучшение условий и повышение надежности эксплуатации, благодаря исключению влияния на водоводы температур наружного воздуха (с перепадом температур, достигающим 45 °С), обеспечению совместной работы водоводов между собой и с грунтом обратной засыпки, увеличению длины секций и снижению величины взаимных перемещений смежных секций, в целом повышение устойчивости водоводов и склона.

В таких ГАЭС на нескальных основаниях большое заглубление оси рабочего колеса (16–20 м) под уровень нижнего бьефа по условиям работы агрегата в насосном режиме приводит к необходимости выполнения больших и глубоких котлованов для зданий ГАЭС со сложными, требующими больших затрат системами водопонижения. Это приводит к значительному увеличению объемов работ, усложнению условий и увеличение сроков строительства. Для таких условий были разработаны конструктивно-компоновочные решения здания Ленинградской ГАЭС (Рис. 9), позволяющие улучшить условия производства работ при его возведении.

Здание ГАЭС по высоте делится на две части и возводится двумя способами:

- нижняя часть здания выполняется с поверхности котлована на отметке 55 м с устройством четырех круговых шахт способом "стена в грунте" глубиной 18 м, внутри которых под защитой железобетонных стен производятся бетонные и монтажные работы;

- каждые две шахты соединены между собой с устройством между ними прямолинейной общей стенки, что позволило уменьшить длину здания ГАЭС и объемы работ;

- в пределах шахты располагаются отсасывающие трубы двух агрегатов, сливные емкости для опорожнения проточной части агрегатов, дренажные емкости;

- верхняя часть здания ГАЭС выше отметки 55 м возводится в открытом котловане, в виде бетонной конструкции, в которой размещаются спиральные камеры, обратимые агрегаты, технологические помещения и машинный зал.

Такие решения обеспечивают:

- в целом более благоприятные условия строительства, сокращение объемов и сроков работ;

- благоприятные условия статической работы шахт-колодцев, со стенами в виде сплошной железобетонной конструкции;

- объединения функций шахт-колодцев, как временных несущих конструкций в период строительства, так в дальнейшем неотъемлемой части здания ГАЭС.

- поочередный пуск агрегатов и эксплуатации за счет их расположения в отдельных шахтах.

5. Энергокомплексы

В современных условиях развития мировой электроэнергетики, характеризующихся ужесточением экологических требований, приоритетным быстрым ростом выработки на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), в первую очередь на солнечных электростанциях (СЭС) и ветроэлектростанциях (ВЭС), все более широким использованием в энергосистемах распределительной генерации, получают развитие как мощные, так и локальные энергоузлы с технологическим объединением различных типов электростанций. Такие гибридные узлы позволяют обеспечить спрос на электроэнергию с учетом изменчивости потребления, высокую эффективность и уменьшение отрицательных воздействий на окружающую среду. В состав таких энергоузлов могут входить в различных комбинациях: базовые ТЭС и АЭС, ВИЭ (ГЭС, СЭС, ВЭС и др.), регулирующие и аккумулирующие – ГАЭС, аккумуляторные системы.



Рис. 10. Общий вид Ташлыкской ГАЭС

Прототипом таких энергоузлов является за-проектированный Укрэнергопроект и эксплуатируемый в настоящее время Южно-Украинский энергокомплекс (ЮУЭК) в составе Южно-Украинской АЭС (ЮУАЭС) мощностью 3000 МВт, Ташлыкской ГАЭС мощностью 900 МВт (2 обратимых агрегата мощностью 300 МВт, введены в эксплуатацию), Александровского водохранилища на р. Ю. Буг с ГЭС мощностью 14 МВт и Ташлыкского водохранилища (Рис. 10) [5].

В проекте ЮУЭК разработаны инновационные решения по технологическому объединению сооружений и водохранилищ с обеспечением системы техводоснабжения и охлаждения конденсаторов АЭС, работы ГАЭС, с единой системы управления и выдачи мощности в энергосистему с общего ОРУ. В дальнейшем возможно присоединение к ЮУЭК с технологическим объединением новых расположенных рядом СЭС и ВЭС. В составе ЮУЭК АЭС работает в базовой части суточного графика нагрузок, ГАЭС – в турбинном режиме в пиковой части графика нагрузок и в насосном режиме – в провальной части с использованием энергии АЭС, а также является дополнительным аварийным резервом мощности для АЭС.

В таких энергокомплексах (энергоузлах) обеспечивается:

- совместное строительство и поэтапный ввод объектов с созданием и использованием общей инфраструктуры, снижением затрат в ЛЭП, что позволяет снизить капвложения и сроки ввода;

- единая система эксплуатации и управления

технологическими режимами и выдачи мощности всех объектов с сокращением потерь электроэнергии и в целом эксплуатационных затрат;

- уменьшение площади отчуждения земель и отрицательного влияния на окружающую среду.

Опыт ЮУЭК показал существенные эксплуатационные, энергетические и экономические пре-

имущества таких энергоузлов и целесообразность их дальнейшего развития и применения.

Выводы

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации энергообъектов, построенных по проектам Укрэнергопроекта подчеркивает неизменную линию института на внедрение в проекты новых прогрессивных решений, которые способствуют повышению надежности и прочности гидротехнических сооружений, высокой экономической эффективности, улучшение условий эксплуатации и архитектурной выразительности объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Wang Weibiac, K. Hoeg. Developments in the dosing and construction of asphalt core dams. *Hydropower and Dams*. Issue 3, 2010. P. 83–90.

2 Y.P. Lyapichev. Y.A. Landau. Solutions for New Large Dams. *Hydro Review Worldwide (HRW)*. November – December, 2011.

3 A. I. Vaynberg, Y.A. Landau. Design and technological characteristics of the high rockfilled dams with asphalt-concrete diaphragm evicted in severe climatic conditions. *Twenty fifth International Commission on Large Dams*, June, 2015, p.

4 Y.B. Mgalobelov, Y.A. Landau. Non-tradition concrete Dam Construction on ROCK Foundation. A.A. Balkemo Publisher, Rotterdam, 1997, p. 281.

5 Y.A. Landau, V.A. Osadchuk. Th Tashlik pumped-storage plant: a key element in the Ukrainian power system. *Hydropower and Dams*. Issue 5, 2007.

