



КРЮЧКОВА С.В., зам. нач. гидромеханического отдела
ГУГАЕВА И.Ф., гл. специалист гидромеханического отдела
ПАО "Укрэнергопроект", г. Харьков

ВЫБОР ГИДРОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ КАХОВСКОЙ ГЭС-2

Статья посвящена особенностям выбора гидросилового оборудования при выполнении Технико-экономического обоснования строительства Каховской ГЭС – 2 в условиях действующего гидроузла.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, регулирование частоты и мощности, маневренная мощность, энергетическая стратегия, горизонтальные гидроагрегаты.

Основу гидроэнергетики Украины составляют ГЭС и ГАЭС, расположенные на реках Днепр и Днестр, а также Ташлыкская ГАЭС на реке Южный Буг. Их общая мощность на 2016 г., составляет 5703 МВт.

Принимая во внимание относительно небольшую долю гидроэнергетики в общей выработке электроэнергии (8,6%), Украина ощущает недостаток регулирующих мощностей.

В "Энергетической стратегии Украины на период до 2030 г." определены основные направления по освоению нетрадиционных и возобновляемых источников энергии как одного из важнейших факторов повышения уровня энергетической безопасности и снижения отрицательного воздействия на экологию.

Увеличение производства электроэнергии планируется достичь за счет реконструкции ГЭС Днепровского каскада, строительства Каневской ГАЭС, Каховской ГЭС-2, а также за счет ввода последующих гидроагрегатов Днестровской и Ташлыкской ГАЭС.

Принятая в июле 2016 года Кабинетом Министров Украины "Программа развития гидроэнергетики до 2026 года", являющаяся частью энергетической стратегии Украины, ставит задачу обеспечения ОЭС Украины маневренными мощностями и увеличения доли генерирующих мощностей до 15,5 %.

Несбалансированная структура генерирующих мощностей в украинской ОЭС, исходя из новых условий развития электроэнергетики, требует оптимизации структуры генерирующих мощностей и их обеспечения необходимым аварийным и частотным резервом для надежного энергоснабжения.

Днепровский каскад водохранилищ состоит из шести гидроэлектростанций и одной ГАЭС, образуя единый водохозяйственный энергокомплекс, и имеет важнейшее стратегическое значение для экономики Украины. Все водохранилища каскада – комплексного назначения. Их водные ресурсы используются для гидроэнергетики, коммунального и промышленного водоснабжения, орошения земель, водного транспорта, рыбного хозяйства, рекреации.

Киевское, Кременчугское и Каховское водохранилища ведут сезонное и годовое регулирование стока, Каневское, Днепродзержинское и Днепровское – суточное и недельное.

Гидроэлектростанции Днепровского каскада ведут регулирование мощности, покрывая пиковую часть графика нагрузки; служат в качестве быстродействующего аварийного и частотного резерва энергосистемы страны.

Каховская ГЭС является нижней ступенью Днепровского каскада. Поскольку ввод Каховской ГЭС в эксплуатацию (1955 г.) произошел до создания на вышележащем участке р. Днепр регулирующих водохранилищ, сбросной расход Каховского гидроузла отличается от сбросных расходов вышележащих ГЭС.

Каховская ГЭС имеет наименьшую пропускную способность через турбины и по характеру



Рис. 2. Каховский гидроузел



Рис. 3. Машинный зал Каховской ГЭС



использования в энергосистеме относится к полупиковым ГЭС, в то время как большинство ГЭС каскада — к пиковым ГЭС.

На Каховском гидроузле чаще и в большем объеме, чем на других гидроузлах, производятся холостые сбросы.

В состав Каховского гидроузла входят следующие сооружения:

- здание гидроэлектростанции;
- водосливная плотина;
- судоходный шлюз;
- земляная плотина.

В настоящее время на Каховской ГЭС установлены шесть вертикальных гидротурбин поворотно-лопастного типа, диаметром рабочего колеса 8,0 м, мощностью 55 МВт при напоре 15,4 м. Установленная мощность ГЭС составляет 335 МВт.

Впервые вопросы увеличения мощности Каховской ГЭС были рассмотрены институтом "Укргидропроект" в 1984 г. Была рассмотрена возможность расширения Каховского гидроузла за счет строительства и ввода в эксплуатацию нового здания ГЭС-2 с двумя принципиально разными вариантами размещения:

- в пролетах водосливной плотины;
- в теле правобережной земляной плотины.

Поскольку в условиях энергетической системы в 1985 г. увеличение мощности оказалось не эффективным, было рекомендовано рассмотреть расширение Каховской ГЭС в перспективе после 2000 года с учетом возможных изменений регулирования стока реки Днепр.

Расход, пропускаемый Днепровским гидроузлом для выработки электроэнергии, может полностью использоваться Каховской ГЭС при условии установки дополнительных гидроагрегатов на ГЭС-2 с переводом работы ГЭС-1 и ГЭС-2 в пиковую часть графика нагрузки, без изменения эксплуатационных уровней воды Каховского водохранилища, что очень важно для действующей станции.

В 2015 году ПАО "Укргидропроект" выполнил технико-экономическое обоснование (ТЭО) по расширению Каховской ГЭС.

Выбор технических решений по строительству Каховской ГЭС-2 в условиях действующего гидроузла при сложных геологических условиях, высокой сейсмичности площадки строительства потребовал рассмотрения шести вариантов размещения здания ГЭС-2.

Выполненный в ТЭО анализ рассмотренных вариантов показал, что наиболее приемлемым и

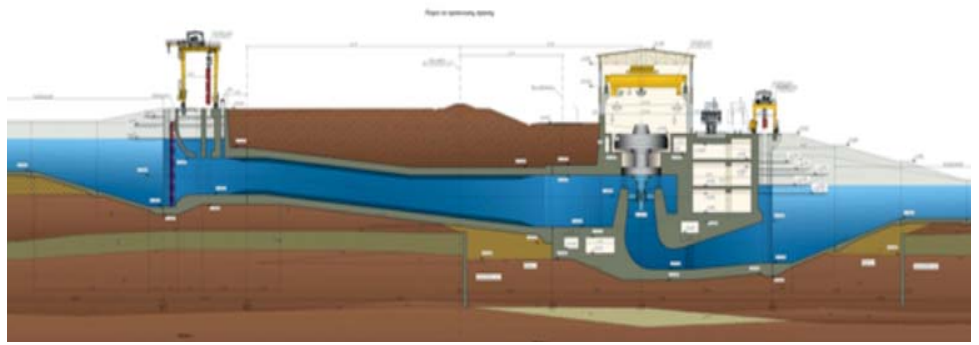


Рис. 4. Разрез по агрегату Каховской ГЭС-2



Рис. 5. Каховская ГЭС-2. Вид с нижнего бьефа

надёжным является вариант размещения ГЭС-2 с напорными водоводами на правобережной земляной плотине.

Наряду с рассмотрением вариантов размещения сооружений и конструкции временной плотины был выполнен выбор количества и типа гидроагрегатов.

Выбор основных параметров гидроагрегатов был проведен на основе следующих исходных данных:

Установленная мощность ГЭС, МВт	— 250,0
Уровни в верхнем бьефе, м:	
- нормальный подпорный уровень (НПУ)	— 16,0
- форсированный подпорный уровень (ФПУ)	— 18,0
- уровень навигационной сработки (УНС)	— 14,0
- уровень мертвого объема (УМО)	— 12,7
Уровни в нижнем бьефе (у плотины), м:	
- максимальный в половодье 0,01%	— 6,9
- в половодье 0,1%	— 5,12
- в половодье 1%	— 3,85
- при работе ГЭС-1 и ГЭС-2 в течение 6-ти часов	— 1,4
- минимально возможный	— 0,8
Напоры, нетто, м:	
- максимальный	— 16,5
- расчетный	— 15,4
- минимальный	— 7,7

Выбор оптимального количества и типа агрегатов ГЭС-2 проведен на основании рассмотрения следующих вариантов:



- установки 6-и горизонтальных капсульных гидроагрегатов с индивидуальными напорными водоводами длиной 99,3 м, единичной мощностью 41,67 МВт, с гидротурбинами ПЛ20-ГК-600, диаметром 6,0 м, и горизонтальными синхронными гидрогенераторами,

- установки 4-х горизонтальных капсульных гидроагрегатов с индивидуальными напорными водоводами длиной 119,0 м, единичной мощностью 62,5 МВт, с гидротурбинами ПЛ20-ГК-750, диаметром 7,5 м и горизонтальными синхронными гидрогенераторами.

- установки 4-х вертикальных гидроагрегатов с индивидуальными напорными водоводами длиной 147,0 м, единичной мощностью 62,5 МВт с гидротурбинами ПЛ20-В-800, диаметром 8,0 м и вертикальными синхронными гидрогенераторами.

Для всех вариантов были разработаны компоновки сооружений, определены объемы и стоимости работ, определены основные параметры гидросилового, механического и электротехнического оборудования.

Сравнение вариантов с установкой шести и четырех агрегатов показало экономическую эффективность установки варианта с четырьмя гидроагрегатами.

При выборе типа гидроагрегатов были также учтены преимущества и недостатки каждого из рассматриваемых вариантов.

Одним из основных преимуществ вертикальных гидроагрегатов является возможность их работы в режиме синхронного компенсатора, что позволяет им участвовать в автоматическом регулировании частоты и мощности.

С точки зрения эксплуатационных условий вертикальные гидроагрегаты, в сравнении с горизонтальными, более доступны и требуют меньших затрат при производстве ремонтных работ. Ремонт гидрогенераторов выполняется без осушения проточной части гидротурбины.

Следует отметить, что установка вертикальных гидроагрегатов отвечает требованиям действующих норм в части унификации гидросилового оборудования при расширении действующих ГЭС. На действующей Каховской ГЭС установлены и успешно эксплуатируются вертикальные гидроагрегаты с аналогичными параметрами.

Преимуществом горизонтальных агрегатов является их большая пропускная способность, что достигается за счет прямоосного проточного тракта. Это позволяет уменьшить диаметр рабочего колеса на 0,5 м в сравнении с вертикальным вариантом.

Однако, горизонтальный гидроагрегат является более металлоемким благодаря размещению гидротурбины и генератора в металлической капсуле, расположенной в потоке на металлических опорах. Для смазки опорных и упорного подшипников горизонтального гидроагрегата необходима сложная система принудительной смазки и охлаждения масла с установкой дополнительного оборудования: насосов, маслоохладителей, сливных и напорных баков.

Ремонт горизонтальных агрегатов осложнен стесненными условиями оборудования, размещенного в капсуле.

Кроме этого, для приплотинной компоновки Каховской ГЭС-2 с напорными водоводами длиной 93,3 м, создание горизонтальных капсульных генераторов мощностью 62,5 МВт с необходимым маховым моментом по условиям гарантий регулирования, представляется довольно сложной задачей, которая не имеет реализованных аналогов на сегодня. В связи с этим в мировой практике подобные гидроагрегаты, учитывая их малую инерционность, используются на ГЭС руслового или приплотинного типа, которые не имеют протяженных напорных водоводов.

Сравнение вариантов показало, что масса гидросилового и механического оборудования с установкой 4-х вертикальных гидроагрегатов меньше на 650,0 т, чем с установкой 4-х горизонтальных капсульных агрегатов. Стоимость строительства ГЭС-2 с установкой вертикальных гидроагрегатов меньше на 200 млн. грн., чем с установкой горизонтальных гидроагрегатов [3].

По результатам сравнения вариантов рекомендуемым принят вариант с установкой на ГЭС-2 4-х вертикальных гидроагрегатов установленной мощностью 250 МВт с гидротурбинами ПЛ20-В-800, диаметром 8,0 м, аналогичными установленным на действующей Каховской ГЭС.

Выводы:

Каховская ГЭС-1 и ГЭС-2 будут являться источником аварийного резерва мощности в системе и могут быть включены в систему автоматического регулирования частоты и мощности (САРЧМ).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гидроэнергетическое* и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций. Справочное пособие. Под ред. В.С. Васильева, Д.С. Шавелева, М. Энергоатомиздат, 1988 г.
2. *Энергетика*. История, настоящее и будущее. Том 4. Возобновляемая энергетика. Функционирование и развитие энергетики в современном мире. Киев. 2010 г.
3. *Будівництво* Каховської ГЕС-2. Техніко-економічне обґрунтування. Гідротехнічні споруди і технологічне устаткування. 1606-14-Т2, ПАТ "УКРГІДРОПРОЕКТ", 2016 р.