

## II. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.224

Волков В. А.

*Канд. техн. наук, доцент кафедры гидроэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия, Украина, E-mail: green\_stone@ukr.net*

### ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ГИДРОАККУМУЛЯЦИИ НА СУЩЕСТВУЮЩИХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ ДНЕПРОВСКОГО КАСКАДА УКРАИНЫ

*Предложена методика оценки возможности осуществления гидроаккумуляции на существующих гидроэлектростанциях Днепровского каскада Украины. С ее использованием в качестве примера оценена возможность осуществления гидроаккумуляции на Днепровской ГЭС. Выполнен выбор мощности, типа и количества обратимых гидроагрегатов для Днепровской ГЭС, предназначенных для осуществления на этой станции гидроаккумуляции, оценены достигаемые за счет гидроаккумуляции гидроэнергетические параметры станции.*

**Ключевые слова:** гидроаккумуляция, гидроагрегат, расход, напор, энергосистема.

В настоящее время при функционировании энергосистемы Украины испытывается острая потребность в кратковременной выработке (или потреблении) активной электрической мощности для компенсации пиковых максимальных (или минимальных) значений потребляемой активной электрической мощности различными нагрузками энергосистемы [1]. При этом известно, что компенсация максимальных значений суточного графика потребления активной мощности (в дневное время) осуществляется посредством включения необходимого количества гидроагрегатов на гидроэлектростанциях [2, 3]. Для компенсации же минимальных значений (в ночное время) суточного графика потребления активной мощности энергосистемы, наоборот, выводятся из работы упомянутые гидроагрегаты гидроэлектростанции и используются гидроаккумулирующие станции. На гидроаккумулирующих станциях гидроагрегаты переводятся из генераторного в насосный режим работы, обеспечивая дополнительное потребление из энергосистемы активной электрической мощности, а также производится накопление гидроресурсов со стороны верхнего бьефа (ВБ) [4]. Указанные накопленные в ночное время энергоресурсы создают необходимый объем воды в верхнем бьефе гидроаккумулирующей станции для последующей компенсации максимальных пиковых активных электрических мощностей суточного графика загрузки в энергосистеме.

Следует отметить, что благодаря наличию в Украине Днепровского каскада из шести гидроэлектростанций и оперативного подключения их гидроагрегатов, успешно решаются в настоящее время вопросы компенсации максимальных значений пиковой активной электрической мощности суточного графика загрузки энергосистемы. Однако с решением задачи осуществления компенсации минимальных значений активной электрической мощности суточного графика загрузки энергосистемы существуют определенные трудности, обусловленные недостатком в Украине имеющихся гидроаккумули-

рующей станций и их мощностей [5]. В свою очередь развитие гидроаккумулирующих станций и увеличение их установленных мощностей на Украине будет способствовать улучшению динамики режимов отечественной энергосистемы, а потому является актуальной и практически востребованной задачей.

Целью статьи является исследование возможности создания гидроаккумуляции на существующих гидроэлектростанциях Днепровского каскада Украины (на примере Днепровской ГЭС).

Исследования проведены в четыре этапа. На первом этапе проведен анализ существующего изменения уровня воды верхнего (ВБ) и нижнего бьефов (НБ) Днепровской ГЭС за период времени с 1997 по 2012 годы, на основе данных о которых построены графики колебания этих уровней, показанные для периода времени с 2008 по 2012 годы на рис. 1а, б.

На втором этапе проанализированы границы сезонных колебаний уровня нижнего бьефа и на основе этого оценена существующая возможность транспортировки объемов воды из нижнего бьефа в верхний бьеф Днепровской ГЭС. В частности, из графиков колебания уровня верхнего и нижнего бьефов на рис. 1 следует, что максимальный расход Днепровской ГЭС приходится на март и май месяцы. При этом снижение уровня воды ВБ достигает отметок 51,06 м (в 2010 году) относительно уровня моря. Отметка нижнего уровня бьефа при этом достигла значения 16,5 м относительно уровня моря. Разница уровней верхнего и нижнего бьефов (которая является напором для гидротурбины гидроагрегата) составляет 34,8 м. Уменьшение напора на гидроагрегате влечет за собой увеличение расхода воды через турбину, т.е. – уменьшение полезного объема воды верхнего бьефа, столь необходимого для погашения последующих максимальных пиков электрической мощности суточного графика загрузки энергосистемы. Значения усредненных (за период времени с 2008 по 2012 годы) напоров на Днепровской ГЭС приведены на рис. 2.

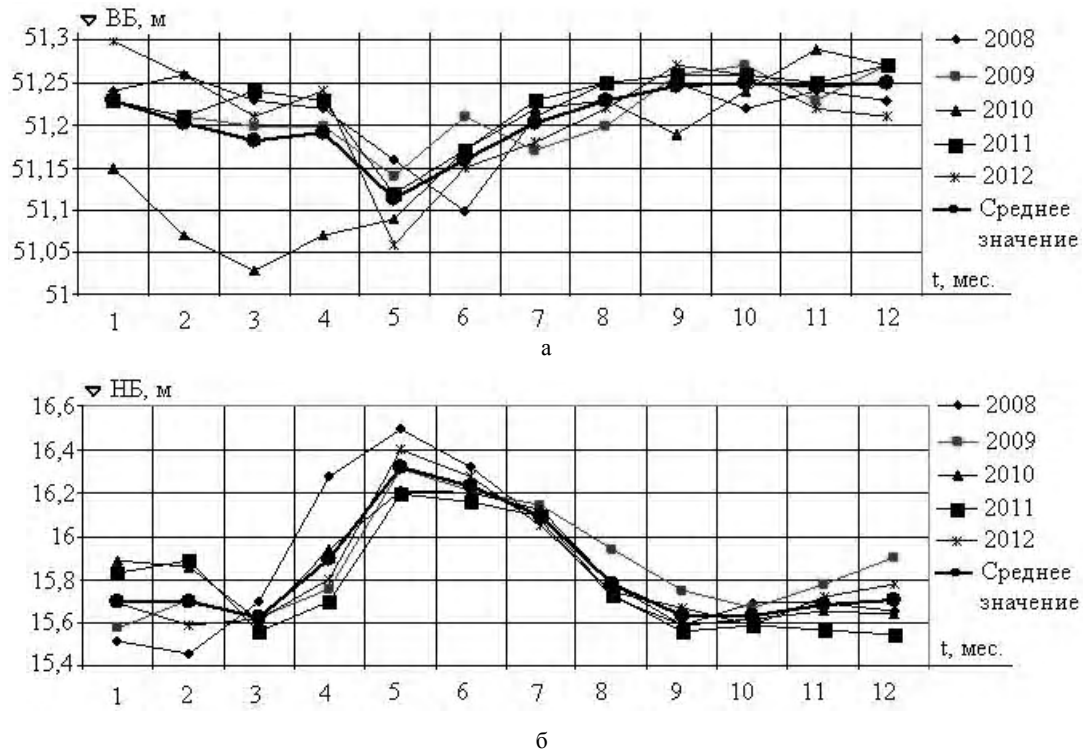


Рисунок 1 – Графики изменения уровней верхнего (а) и нижнего (б) бьефов Днепровской ГЭС

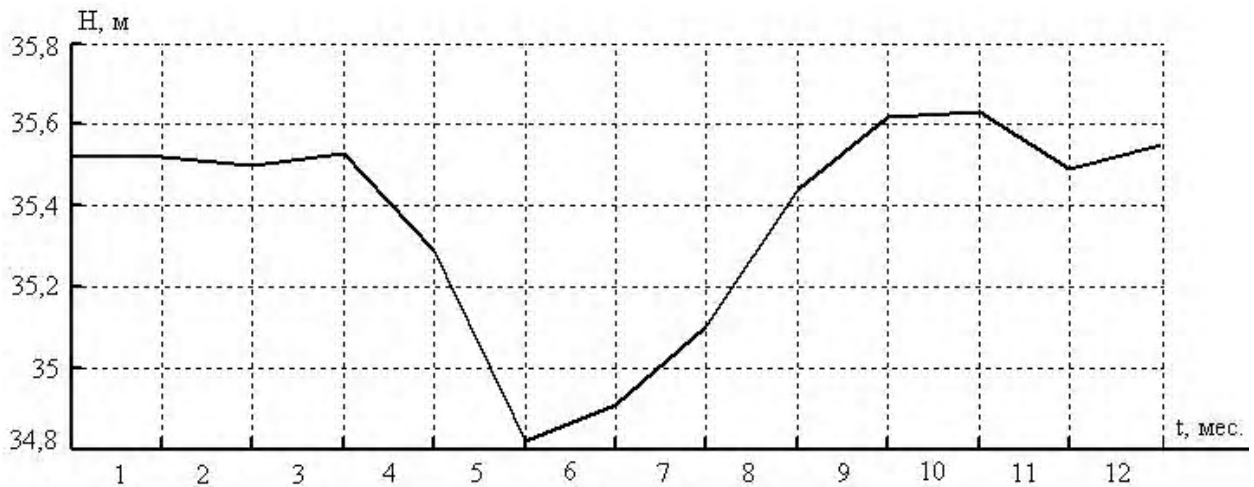


Рисунок – 2 Сезонное изменение усредненного напора на Днепровской ГЭС

Исходя из графика на рис. 2, можно сделать вывод, что наибольшая потребность в гидроаккумуляции приходит на месяцы: май, июнь июль. При этом отметка НБ Днепровской ГЭС в эти месяцы в среднем на 3 метра превышает минимальный уровень воды ее нижнего бьефа. То есть – фактически существует определенный объем воды в НБ этой станции, который возможно для осуществления гидроаккумуляции транспортировать в бассейн верхнего бьефа.

На третьем этапе проведен расчет полезных объемов, создаваемых в верхнем бьефе, а также дополнительных потребляемых активных мощностей от эксплуатации обратимых гидроагрегатов на Днепровской ГЭС. Приведем (по данным Днепровской ГЭС) краткие сведения о верхнем бьефе этой станции: объем водохранилища – 15,6 км<sup>3</sup>, площадь зеркала водохранилища – 420 км<sup>2</sup>, длина – 170 км, ширина – 0,6 км (в районе затопленных порогов) и 3,5 км в верхней части, средняя глубина – 8 м, наибольшая глубина 45 м (ниже г. Новомосковска).

Аналогично приведем краткие сведения о нижнем бьефе Днепровской ГЭС: объем водохранилища – 18,2 км<sup>3</sup>, площадь зеркала водохранилища – 2155 км<sup>2</sup>, площадь зеркала нижнего бьефа – 1,1 км<sup>2</sup>, длина – 230 км, ширина – 25 км. Минимальный уровень воды нижнего бьефа не должен быть менее 11 м относительно уровня моря. Проанализировав усредненные (за 2008–2012 годы) значения уровня отметки нижнего бьефа, рассчитаем для НБ возможные объемы воды, которые можно из него аккумулировать в верхний бьеф этой станции:

$$\Delta V_{\text{НБ}} = \Delta h_{\text{НБ}} \cdot S_{\text{НБ}}, \quad (1)$$

где  $\Delta V_{\text{НБ}}$  – возможный объем аккумуляции воды из нижнего бьефа, м<sup>3</sup>;  $\Delta h_{\text{НБ}}$  – разница отметок фактического и минимально возможного уровня нижнего бьефа, м;  $S_{\text{НБ}}$  – площадь водохранилища нижнего бьефа воды, расположенного вблизи тела плотины, м<sup>2</sup>.

Рассчитанные по формуле (1) значения возможных объемов воды, предназначенных для транспортировки из нижнего бьефа в верхний бьеф Днепровской ГЭС, приведены в табл. 1.

На четвертом этапе осуществлен для Днепровской ГЭС выбор мощности, типа и количества обратимых гидроагрегатов, служащих для работы в генераторном и насосном режимах и осуществления в последнем режиме гидроаккумуляции. Исходя из посадочных размеров

шахты гидроагрегатов Днепровской ГЭС, а также технических характеристик (в первую очередь напора) обратимых гидротурбин, наиболее предпочтительными являются турбины ОГТ-50-В-650 и ОГТ-45-В-650 отечественной фирмы ВАТ «Турбоатом» (Украина) [6]. Технические характеристики указанных вариантов обратимых гидротурбин приведены в табл. 2.

Универсальные характеристики обратимых гидротурбин ОГТ-50-В-650 и ОГТ-45-В-650 приведены на рис. 3 [7]. Эти характеристики представляют собой зависимости частоты вращения  $n'_1$ , об/мин. и расхода  $Q'_1$ , л/с гидротурбины от изменения коэффициента полезного действия  $\eta'_{11}$ , %, и положения направляющего аппарата  $\alpha_0$ , %. Из этих характеристик следует, что при работе с максимальным значением коэффициента полезного действия (КПД) максимальный расход воды для турбины ОГТ-50-В-650 составит 1,15 м<sup>3</sup>/с (при КПД, равном 80%), а для турбины ОГТ-45-В-650 – 0,95 м<sup>3</sup>/с (при КПД, равном 79 %). Данные рабочие точки на рис. 3а, б отмечены крестиком (точки А).

Рассчитанные значения суммарных времен, необходимых для перекачки объемов воды из нижнего бьефа в верхний бьеф на Днепровской ГЭС в различные месяцы календарного года посредством обратимых турбин ОГТ-50-В-650 и ОГТ-45-В-650, приведены в табл. 3. При этом

Таблица 1 – Возможные для транспортировки объемы воды из нижнего в верхний бьеф Днепровской ГЭС

Величины	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta h_{\text{НБ}}$ , м	4,7	4,7	4,65	4,9	5,3	5,25	5,1	4,78	4,62	4,62	4,75	4,7
$\Delta V_{\text{НБ}}$ , 10 <sup>-3</sup> км <sup>3</sup>	5,17	5,17	5,12	5,39	5,83	5,78	5,61	5,26	5,08	5,08	5,23	5,17

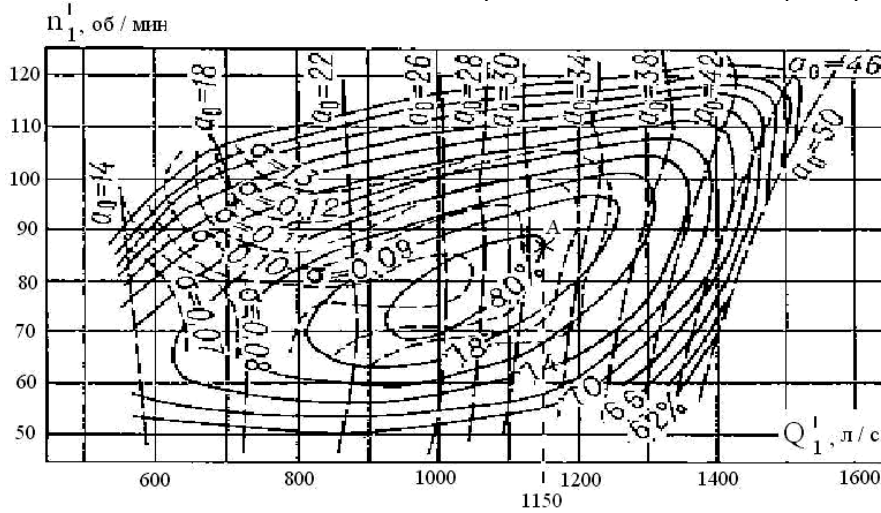
Таблица 2 – Технические характеристики обратимых гидротурбин ОГТ-50-В-650 и ОГТ-45-В-650

Тип турбины	ОГТ-50-В-650		ОГТ-45-В-650	
Производитель (страна)	ВАТ «Турбоатом» (Украина)		ВАТ «Турбоатом» (Украина)	
Выраб. мощн. в турб. реж. МВт	135		130	
Потребл. мощн. в насос. реж. МВт	150		165	
Зона напоров $H_{\text{мин}} - H_{\text{макс}}$ , м	40–55		30–50	
Масса, т	525		550	
Относительная высота направляющего аппарата $v_0 / D_1$	0,25		0,25	
Диаметр рабочего колеса, м	6,5		6,5	
Количество лопастей рабочего колеса $z_1$	24		25	
Приведенная скорость вращения, об / мин.	$n'_{1 \text{ розр}}$	75	72	
	$n'_{1 \text{ макс}}$	78	75	
Приведенный расход, л / с	$Q'_1 \text{ max}$	1400	1030	
	$Q'_1 \text{ min}$	1370	650	
Кавитационный коэффициент $\sigma$	при $Q'_1 \text{ max}$	0,15	0,15	
	при $Q'_1 \text{ min}$	0,11	0,10	
Приведенная разгонная скорость вращения по разгонной характеристике	$n'_{p1}$ , об / мин	139	137	
Коэффициент осевого усилия $K_{oc}$	кН / м <sup>2</sup>	24–30	24–31	
	т / м <sup>2</sup>	0,25–0,31	0,25–0,32	

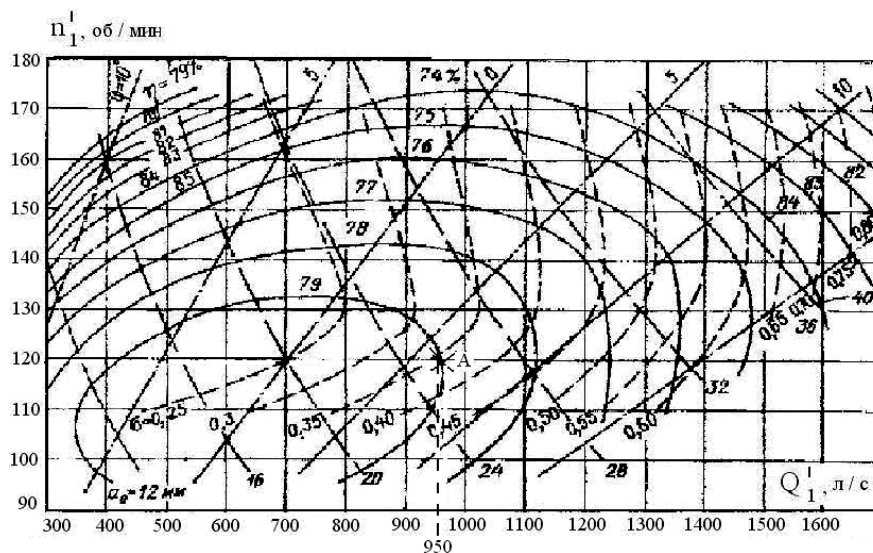
указанный расчет суммарных времен, затрачиваемых одним обратимым гидроагрегатом на транспортировку воды из нижнего на верхний бьеф Днепровской ГЭС для ее аккумуляции в верхнем бьефе, производился по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} t_{\text{ОГТ-50-В-650}} &= \Delta V_{\text{НБ}} / Q_{\text{ОГТ-50-В-650}} \\ t_{\text{ОГТ-45-В-650}} &= \Delta V_{\text{НБ}} / Q_{\text{ОГТ-45-В-650}} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{ОГТ-50-В-650}}$  и  $t_{\text{ОГТ-45-В-650}}$  – времена транспортировки воды из нижнего бьефа в верхний бьеф для турбин



а



б

Рисунок – 3 Универсальные характеристики обратимых гидротурбин: а) ОГТ-50-В-650 и б) ОГТ-45-В-650

Таблица 3 – Затрачиваемое время при гидроаккумуляции на транспортировку воды из нижнего в верхний бьеф

Тип турбины	Время транспортировки воды из нижнего бьефа в верхний бьеф (ч)											
	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ОГТ-50-В-650	1249	1249	1235	1302	1408	1395	1355	1270	1228	1228	1262	1249
ОГТ-45-В-650	1512	1512	1496	1576	1705	1689	1640	1537	1486	1486	1528	1512

Таблица 4 – Тип и мощности гидротурбин установленных на Днепровской ГЭС-2

№	Тип гидротурбины	Номинальная мощность турбины, МВт
11, 13, 15	ПЛ-40-В-680	119
12	ПЛ-40-В-680	105
14, 16	ПР-40-В-680	113
17, 18	ПЛ-40-В-700	113

типа ОГТ-50-В-650 и ОГТ-45-В-650 соответственно;  $Q_{\text{ОГТ-50-В-650}} = 1,15 \text{ м}^3 / \text{с}$  и  $Q_{\text{ОГТ-45-В-650}} = 0,95 \text{ м}^3 / \text{с}$  – расходы воды одной турбины типа ОГТ-50-В-650 или ОГТ-45-В-650 соответственно (определенные из универсальных характеристик на рис. 3).

Исходя из максимальных значений времени транспортировки полезных объемов воды (соответствующих пятому месяцу – маю в табл. 3) для турбины ОГТ-50-В-650, равного 1408 ч, и для турбины ОГТ-45-В-650, равного 1705 ч, и принимая продолжительность времени работы обратимых гидротурбин в насосном режиме равным восьми часам в сутки (с 23<sup>00</sup> вечера до 7<sup>00</sup> утра) на протяжении 30 дней рассматриваемого месяца, рассчитаем требуемое количество обратимых турбин по формулам:

$$\left. \begin{aligned} z_{\text{ОГТ-50-В-650}} &= t_{\text{ОГТ-50-В-650}} / 240 \\ z_{\text{ОГТ-45-В-650}} &= t_{\text{ОГТ-45-В-650}} / 240 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $z_{\text{ОГТ-50-В-650}}$  и  $z_{\text{ОГТ-45-В-650}}$  – количество обратимых турбин типа ОГТ-50-В-650 и ОГТ-45-В-650 соответственно; 240 – время работы одной турбины в течение месяца (ч).

В результате данного расчета получим, что для транспортировки в верхний бьеф полезного объема воды из нижнего бьефа необходима установка на Днепровской ГЭС турбин: ОГТ-50-В-650 – в количестве 6 шт. или ОГТ-45-В-650 – в количестве, равном 7 шт.

Из формул [8]

$$\left. \begin{aligned} \Delta N_{\text{ОГТ-50-В-650}} &= z_{\text{ОГТ-50-В-650}} \cdot N_{\text{ОГТ-50-В-650}} \\ \Delta N_{\text{ОГТ-45-В-650}} &= z_{\text{ОГТ-45-В-650}} \cdot N_{\text{ОГТ-45-В-650}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

рассчитаем полученное приращение потребляемой активной электрической мощности от осуществления гидроаккумуляции, которая составит: 900 МВт – для ОГТ-50-В-650 или 1155 МВт – ОГТ-45-В-650. В формулах (4) используются следующие обозначения:  $N_{\text{ОГТ-50-В-650}}$  и  $N_{\text{ОГТ-45-В-650}}$  – потребляемые активные мощности (согласно табл. 2) одной обратимой турбины типа ОГТ-50-В-650 или ОГТ-45-В-650 в насосном режиме, равные 150 МВт и 165 МВт соответственно;  $\Delta N_{\text{ОГТ-50-В-650}}$  и  $\Delta N_{\text{ОГТ-45-В-650}}$  – приращения потребляемой активной электрической мощности от осуществления гидроаккумуляции всеми устанавливаемыми турбинами типа ОГТ-50-В-650 или ОГТ-45-В-650 соответственно. По экономическим соображениям (исходя из капитальных затрат на приобретение обратимых гидроагрегатов, а также затрат на демонтаж и замену существующих гидротурбин) более предпочтительной является установка 6-ти обратимых гидроагрегатов с турбинами типа ОГТ-50-В-650.

Во время режима компенсации пиковой активной мощности энергосистемы часть от ее общей избыточной мощности передается с первичных на вторичные обмотки повышающих трансформаторов (установленных на ГЭС для связи с энергосистемой) и затрачивается на питание установленных обратимых гидроагрегатов, работающих в насосном режиме. Применительно к

Днепровской ГЭС основная часть из указанной избыточной мощности энергосистемы передается от расположенных рядом с Днепровской ГЭС крупных Запорожских атомной и тепловой электростанций.

В заключение оценим изменения предельных (максимальных) значений генерируемой активной мощности  $\Delta N_{\Sigma}$  и объема выработанной годовой электроэнергии  $\Delta \mathcal{E}_r$  на Днепровской ГЭС при замене на станции ДнепроГЭС-2 (входящей в состав Днепровской ГЭС) шести (из существующих ныне восьми) необратимых гидротурбин с типом и мощностью, показанными в табл. 4) на обратимые гидротурбины (в том же количестве  $n = 6$  шт.) типа ОГТ-50-В-650 согласно табл. 2 мощностью, равной в генераторном (турбинном) режиме  $N_{\text{Г0}} = 135$  МВт каждая. Данная оценка выполнена из следующих соотношений:

$$\Delta N_{\Sigma} = n \cdot N_{\text{Г0}} - \sum_{i=1}^{16} N_{\text{Г1}i}, \quad (5)$$

$$\Delta \mathcal{E}_r = \frac{2}{3} \cdot 8760 \cdot (n \cdot N_{\text{Г0}} - \sum_{i=1}^{16} N_{\text{Г1}i}), \quad (6)$$

где  $i$  – существующий порядковый номер гидротурбины на ДнепроГЭС-2 (из табл. 4); 8760 – общий годовой фонд времени работы гидротурбин, ч;  $2/3$  – доля времени, приходящиеся на работу гидротурбин в генераторном режиме (при принятом ранее значении времени их функционирования в этом режиме в сутки, равном 16 ч.).

Результаты данных оценок свидетельствуют о том, что при указанной замене на Днепровской ГЭС шести необратимых гидротурбин на обратимые предельная генерируемая активная мощность рассмотренной станции увеличится на 122 МВт (или на 7,8%), а предельный объем годовой выработки (генерации) электроэнергии этой станции возрастет на 712 тыс. МВтч. При этом за счет осуществления рассмотренной гидроаккумуляции обеспечивается повышение предельного значения, рассчитанного из (7), потребляемой пиковой активной мощности (с учетом данных из табл. 2) на 900 МВт.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана методика, позволяющая оценить возможность осуществления гидроаккумуляции на существующих гидроэлектростанциях Днепровского каскада.
2. С использованием данной методики установлена возможность осуществления гидроаккумуляции на наибольшей по мощности из гидроэлектростанций Украины – Днепровской ГЭС. Для этой электростанции выполнен выбор необходимой мощности, типа и количества обратимых гидроагрегатов, в результате установки которых будет обеспечено потребление в ночное время активной электрической мощности их энергосистемы Украины в размере до 900 или 1155 МВт с применением соответственно гидротурбин типа ОГТ-50-В-650 или ОГТ-45-В-650.
3. Практическая реализации гидроаккумуляции на Днепровской ГЭС позволит эффективнее компенсировать минимальные пиковые значения суточного графика загрузки энергосистемы Украины, в том числе – вызванные в последнее время спадом производства и не-

ритмичной работой энергоемких предприятий Запорожской области: алюминиевого комбината, ферросплавного завода, электрометаллургического завода «Днепроспецсталь» и др.

4. Благодаря осуществлению на верхнем бьефе Днепроградской ГЭС гидроаккумуляции будет также одновременно достигнуто увеличение продолжительности времени компенсации этой станцией максимальной пиковой электрической мощности в суточном графике загрузки энергосистемы.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Поташник С. І. Безпечна експлуатація гідротехнічних споруд гідроелектростанцій України на сучасному етапі / С. І. Поташник, О. М. Карамушка // Вісник національного університету водного господарства та природокористування. – 2013. – Вип. 2(62). – С. 11–19.
2. Шейнман Л. Б. Гидроаккумулирующие электростанции / Л. Б. Шейнман. – М. : Энергия, 1978. – 184 с.

3. Николайкин Н. И. Гидроаккумулирующие электростанции / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – М. : Дрофа, 2006. – 186 с.
4. Аршеневский Н. Н. Обратимые гидромашинны гидроаккумулирующих электростанций / Н. Н. Аршеневский. – М. : Энергия, 1977. – 240 с.
5. Поташник С. И. Каскад Среднеднепровских ГЭС / С. И. Поташник. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 143 с.
6. Каширин М. М. Конструкции насос-турбин на напоры до 120 м / М. М. Каширин, К. П. Лапшинов. – М. : Энергомашиностроение, 1986. – 223 с.
7. Самойленко Є. Г. Гідроенергетичне обладнання гідрота гідроаккумуляючих електростанцій. – Запоріжжя : ЗДІА, 2006. – 410 с.
8. Васильева Ю. С. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций / Ю. С. Васильева, Д. С. Щавелев. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 435 с.

*Статья поступила в редакцию 22.10.2014.  
После доработки 17.11.2014.*

Волков В. О.

К.т.н., доцент кафедри гідроенергетики, Запорізька державна інженерна академія, Україна

**ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗДІЙСНЕННЯ ГІДРОАКУМУЛЯЦІЇ НА ІСНУЮЧИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ УКРАЇНИ**

*Запропонована методика оцінювання можливості здійснення гідроаккумуляції на існуючих гідроелектростанціях Дніпровського каскаду України. З її використанням в якості прикладу оцінена можливість здійснення гідроаккумуляції на Дніпровській ГЕС. Виконано вибір потужності, типу й кількості зворотних гідроагрегатів для Дніпровської ГЕС, призначених для здійснення на цій станції гідро акумуляції, оцінені досягнуті за рахунок гідроаккумуляції гідроенергетичні параметри станції.*

**Ключові слова:** гідроаккумуляція, гідроагрегат, витрата, напір, енергосистема.

Volkov V. A.

Ph.D., assistant professor of hydropower, Zaporizhzhya State Engineering Academy, Ukraine

**EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF HYDRO ACCUMULATION IMPLEMENTATION ON EXISTING HYDRO POWER PLANTS OF DNIEPER CASCADE OF UKRAINE**

*An estimation method for feasibility of hydro accumulation on existing hydro power plants of Dnieper cascade of Ukraine (on the example of the Dnieper HPP). In the first stage the analysis of the existing changes in water levels of the upper and lower pool of Dnieper HPP in recent years is done. In the second phase the boundaries of seasonal fluctuations in the level of the tailrace are analyzed and the existing possibility of transporting water from the lower to the upper pool of the Dnieper HPP is evaluated. In the third step the useful volume generated by upstream is calculated, and it may consume the additional capacity during commissioning reversible hydro units on the Dnieper HPP. The fourth step for the Dnieper HPP power selection includes the type and amount of reversible hydraulic units, employees to work in the generator and pump mode and implementation of hydro accumulation at this station. The quantitative estimation of Dnieper HPP hydropower parameters applying by hydro accumulation is presented..*

**Keywords:** hydro accumulation, hydro unit, flow, pressure, power grid.

**REFERENCES**

1. Potashnik E. I., Karamusha O. M. Bezpechna ekspluatacia sporud gidroelectostanciy Ukraini na suchasnomu etapi, *Visnik nacionalnogo universitetu vodnogo gospodarstva ta prirodnokoristuvannya*, Rivne, 2013, Vip. 2(62), pp. 11–19.
2. Sheynman L. B. Hidroaccumuluuhih electrostancii. Moscow, Energia, 1978, 184 p.
3. Nikolaikin N. I., Nikolaykina N. E., Melehova O. P. Hidroaccumuluuhih electrostancii. Moscow, Drofa, 2006, 186 p.

4. Arshenevskiy N. N. Obratimiye gidromashine gidroaccumuliruuhih electrostanciy. Moscow, Energia, 1977, 240 p.
5. Potashnik S. I. Cascad Srednedneprovskih GES. Moscow, Energoatomizdat, 1986, 143 p.
6. Kasharin M. M., Lapshinov K. P. Konstrukcii nasos-turbine na napori do 120 m. Moscow, Energomashinostroenie, 1986, 223 p.
7. Samoylenko E. G. Gidroenergetiche obladnannya gidrota gidroaccumuluuhih electrostanciy. Zaporizgha, ZDIA, 2006, 410 p.
8. Vasilyeva U. S., Havelev D. S. Gidroenergeticheskoe I vspomogatelnoe oborudovanie gidroelectrostanciy. Moscow, Energoatomizdat, 1988, 435 p.