

## Гидротехническое строительство

УДК 502/504:556.18:621.311.2

**В. В. ГРИЦАН**

Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (ОАО НИИЭС)

**Д. В. КОЗЛОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Рассматриваются причины нерационального и неэффективного расходования водных ресурсов на гидроэлектростанциях. Представлен анализ мероприятий по повышению эффективности использования водных ресурсов.*

*Энергетическая эффективность, энергоаудит, энергетическое обследование, эффективность использования водных ресурсов, энергетический паспорт, повышение энергетической эффективности, ГЭС, ГАЭС.*

*There are considered problems and questions of revealing causes of irrational and ineffective usage of water resources at hydropower plants, developments of measures on the effectiveness increase of their use.*

*Energetic effectiveness, power audit, energetic inspection, efficiency of water resources usage, energetic passport, increase of power effectiveness, hydropower plant, storage power station.*

Во время подготовки единого энергетического паспорта ОАО «РусГидро» в 2011–2012 годах сотрудниками Научно-исследовательского института энергетических сооружений (ОАО «НИИЭС») было обследовано более 50 гидроэлектростанций в различных регионах Российской Федерации [1, 2]. Целью энергетического обследования (энергоаудита) ГЭС ОАО «РусГидро» было выявление наиболее рационального использования водных ресурсов, статистическая обработка использования водных ресурсов в течение последних пяти лет, поиск путей повышения энергетической эффективности работы ГЭС [3, 4].

Гидроэлектрические станции можно разделить по принципу использования природных ресурсов:

русловые и плотинные ГЭС. К ним относятся практически все ГЭС Волжско-Камского каскада, это **равнинные ГЭС**;

приплотинные ГЭС. Строятся при более высоких напорах воды. В этом случае река полностью перегораживается плоти-

ной, а само здание ГЭС располагается за плотиной, в нижней ее части, вода подводится к турбинам через специальные напорные тоннели, а не непосредственно, как в русловых ГЭС. К ним можно отнести Чиркейскую ГЭС (Республика Дагестан) и Саяно-Шушенскую ГЭС (Республика Хакасия); деривационные гидроэлектростанции. К ним относятся практически все гидроэлектростанции Северо-Кавказского региона России – Северной Осетии, Кабардино-Балкарии, Карачаево-Черкессии, Дагестана (условно приплотинные ГЭС с высокими плотинами и деривационные ГЭС можно отнести к **горным** гидроэлектростанциям);

гидроаккумулирующие электростанции. Такие ГАЭС способны аккумулировать вырабатываемую электроэнергию и пускать ее в ход в моменты пиковых нагрузок. Принцип работы таких электростанций следующий: в определенные периоды (не пиковой нагрузки) агрегаты ГАЭС работают как насосы от внешних источников энергии и

закачивают воду в специально оборудованные верхние бассейны. Когда возникает потребность, вода из них поступает в напорный трубопровод и приводит в действие турбины. По такому принципу в России работает только одна ГАЭС – Загорская. Еще одна Кубанская ГАЭС работает в генераторном режиме во время весеннего паводка, во время осенней и зимней межени она работает в качестве насосной станции.

Показателем эффективности работы ГАЭС является коэффициент полезного использования водных ресурсов (отношение расхода, пропущенного через турбины, к суммарному расходу, пропущенному в нижний бьеф) [5]. На рисунках 1 и 2 представлен сравнительный анализ эффективности работы равнинных и горных гидроэлектростанций.

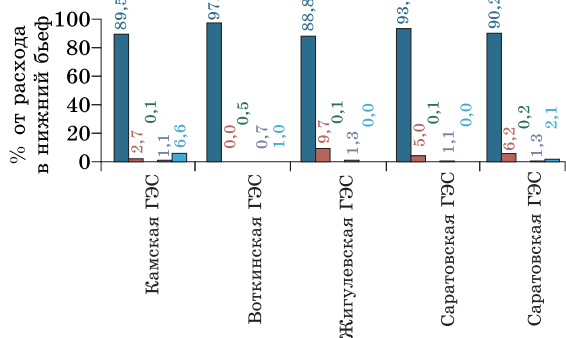


Рис. 1. Анализ использования водных ресурсов на равнинных ГАЭС Волжско-Камского каскада: ■ – расход через турбины ГАЭС; ■ – фильтрация и испарение; ■ – холостой сброс; ■ – другие отрасли водного хозяйства; ■ – расход через шлюз

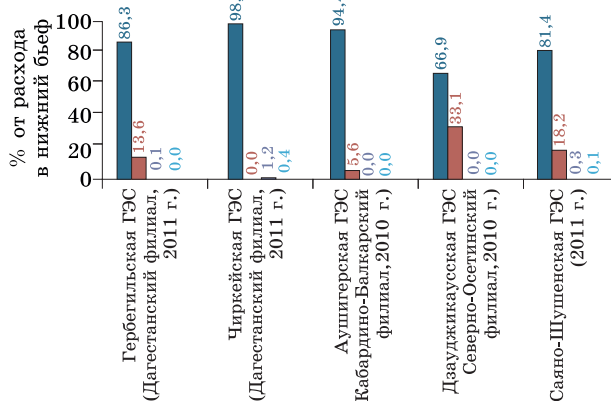


Рис. 2. Анализ использования водных ресурсов на горных приплотинных и деривационных ГАЭС: ■ – расход через турбины ГАЭС; ■ – фильтрация и испарение; ■ – холостой сброс; ■ – другие отрасли водного хозяйства

По составу водопропускных сооружений равнинные гидроэлектростанции, как правило, отличаются от высоконапорных приплотинных и деривационных ГАЭС наличием судоходных шлюзов.

Подробнее рассмотреть структуру водно-энергетических показателей можно на примере одной из равнинных гидроэлектростанций (Саратовская ГАЭС, 2011) и одной из горных деривационных ГАЭС (Дзауджикауская ГАЭС, Северная Осетия). Работа данных гидроэлектростанций представлена на рис. 3 и 4.

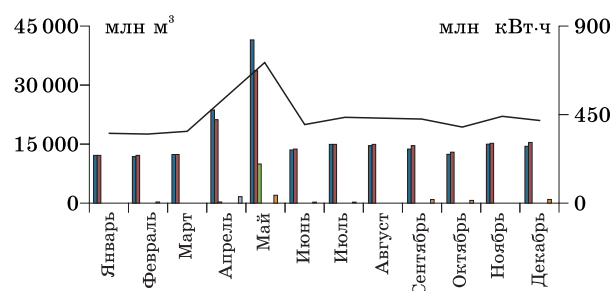


Рис. 3. Анализ водно-энергетических показателей Саратовской ГАЭС (2011 год): ■ – приток в Саратовское водохранилище; ■ – сброс через холодные водосбросы; ■ – расход через Балаковский шлюз; ■ – наполнение водохранилища; ■ – расход через турбины ГАЭС; ■ – фильтрация и испарение; ■ – сработка водохранилища; – – выработка электроэнергии

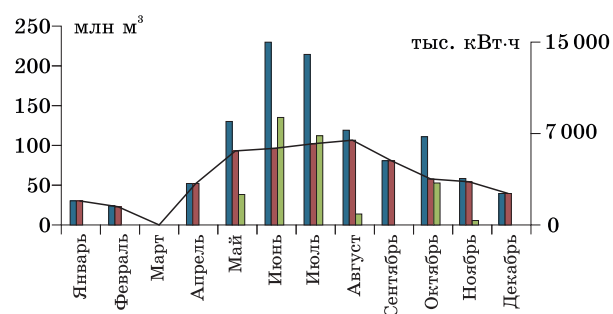


Рис. 4. Анализ водно-энергетических показателей Дзауджикауской ГАЭС (2010 год): ■ – расход через турбины ГАЭС; ■ – холостой сброс; ■ – общий приток в БСР; – – выработка электроэнергии

Анализ водно-энергетических показателей, представленных на рисунках 3 и 4, а также большинства обследованных гидроэлектростанций показывает, что выработка увеличивается во время половодья, которое на равнинных ГАЭС Волжско-Камского каскада длится с марта по май, а на горных реках Северо-Кавказского региона с мая по июль.

Из сравнительного анализа использования водных ресурсов на равнинных и деривационных ГЭС за 5 лет можно видеть, что объем паводка на деривационных гидроэлектростанциях в большей степени влияет на величину холостого сброса, так как сравнительно небольшие водохранилища не способны в достаточной мере срезать пик паводка, как это возможно на ГЭС с крупными водохранилищами, имеющими большой резерв емкости. Поэтому в процентном выражении, в многоводные паводковые сезоны, холостой сброс деривационных ГЭС в несколько раз превышает аналогичные сбросы русловых и водохранилищных гидроэлектростанций, расположенных на равнинной местности.

Но во время энергетического обследования было выявлено интересное исключение – работа приплотинной Колымской ГЭС, расположенной в Магаданской области на реке Колыме (рис. 5).

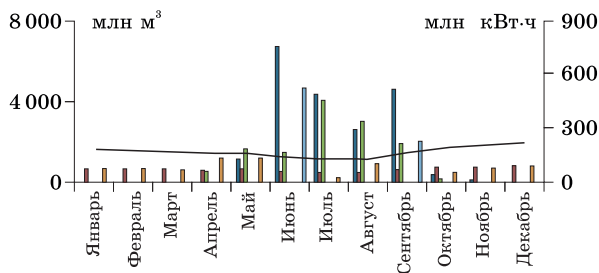


Рис. 5. Анализ водно-энергетических показателей Колымской ГЭС (2011 год): ■ – приток в Колымское водохранилище; ■ – холостой сброс; ■ – фильтрация и испарение; ■ – наполнение водохранилища; ■ – расход через турбины ГЭС; ■ – расход на собственные нужды; ■ – сработка водохранилища; – – выработка электроэнергии

Это связано с тем, что магаданская энергосистема изолирована от единой энергосистемы России, из-за чего излишки электроэнергии не могут перебрасываться другим потребителям. Поэтому на ГЭС летом вхолостую сбрасывается 50...60 % годового стока реки, что эквивалентно 1,5...1,8 млрд кВт·ч. Существуют проекты размещения в Магаданской области энергоемких производств (например, производства водорода, крупных золотоносных приисков).

В связи с ограниченностью способов повышения энергетической эффективности работы ГЭС в настоящее время наиболее результативным является замена

гидроагрегатов на более мощные.

Так, на Жигулевской ГЭС еще в 1980-х годах были реконструированы гидрогенераторы, что позволило в дальнейшем увеличить мощность гидроагрегатов. В 2000-х годах началась замена гидротурбин. На первом этапе было заменено шесть гидротурбин, причем мощность четырех из них возросла на 5 МВт, двух – на 10,5 МВт. В 2007 году мощность Жигулевской ГЭС возросла на 15 МВт за счет замены трех гидротурбин (станционные номера 5, 10 и 15) и достигла 2315 МВт, в 2008 году реконструкция турбин была продолжена, мощность станции составила 2320 МВт, с января 2012 года установленная мощность станции 2341 МВт.

После подрыва части оборудования Баксанской ГЭС в результате диверсии 21 июля 2010 года было запланировано проведение полной реконструкции станции, включая полную замену гидросилового оборудования и полную реконструкцию деривационных сооружений – облицовку каналов, замену дюкеров, расчистку тоннелей и т. д. В результате мощность ГЭС возросла с 25 до 27 МВт.

На рисунке 6 представлена работа Кубанской ГАЭС, входящей в филиал ОАО «РусГидро» – «Каскад Кубанских ГЭС», состоящий из десяти гидроэлектростанций, расположенных на Большом Ставропольском, Барсучковском и Невинномысском оросительных каналах.

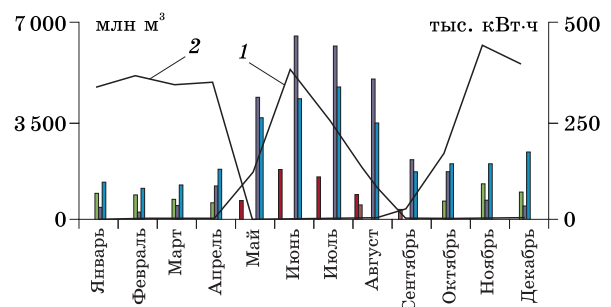


Рис. 6. Анализ водно-энергетических показателей Кубанской ГАЭС (2011 год): ■ – наполнение Кубанского водохранилища через турбины ГАЭС; ■ – наполнение Кубанского водохранилища через холостой водосброс; ■ – перекачка из Кубанского водохранилища; ■ – забор в БСК через головное сооружение Усть-Джегутского водохранилища; ■ – расход из БСК через ШР-1; 1 – выработка электроэнергии; 2 – потребление электроэнергии на производственные нужды

В период наполнения водохранилища из Большого Ставропольского канала гидроагрегаты работают в генераторном режиме, во время подачи воды в БСК гидроагрегаты ГАЭС работают в насосном режиме.

#### Выводы

ОАО «РусГидро» осуществляет реализацию мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в соответствии с утвержденной программой (решение правления ОАО «РусГидро» от 12.04.2010) [6].

**Энергоаудит филиалов ОАО «РусГидро».** В соответствии с требованием Федерального закона Российской Федерации от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» в целях определения потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «РусГидро» проводятся энергетические обследования объектов компании.

В 2012 году проведены энергообследования на Волжской, Камской, Жигулевской, Саяно-Шушенской, Воткинской ГЭС, на Загорской ГАЭС, на ГЭС Кубанского каскада и Дагестанского филиала ОАО «РусГидро», на электростанциях дочерних акционерных обществ ОАО «РусГидро»: ОАО «Геотерм», ОАО «Паужетская ГеоЭС», ОАО «Колымаэнерго».

По итогам обследований разработаны мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности объектов, подготовлены их энергетические паспорта.

**Выполнение технических мероприятий по повышению энергоэффективности, включенных в программу комплексной модернизации.**

В соответствии с планом мероприятий программы комплексной модернизации осуществлена замена гидротурбины на Волжской ГЭС, проведена реконструкция трех гидротурбин с заменой рабочих механизмов на Камской ГЭС, установлены новые гидрогенераторы на Баксанской ГЭС. Суммарный прирост установленной мощности за счет этих мероприятий составил 21,5 МВт.

На Саратовской ГЭС проведена реконструкция генерирующего оборудования секции 23, заменен гидрогенератор типа ВГС на модернизированный типа ВГСМ. На Чебоксарской ГЭС осуществле-

на реконструкция механизма поворота лопастей рабочих колес 4, 8, 16. На Камской ГЭС компаундированная обмотка статора генератора заменена на термореактивную.

Произведена замена трансформаторов на Саратовской ГЭС и ГЭС Кубанского каскада.

Выполнение указанных мероприятий обеспечило прирост среднемноголетней выработки электроэнергии в размере 81,5 млн кВт·ч/год.

**Оптимизация использования водных ресурсов.** В целях повышения качества и оперативности прогнозов по притоку к створам водохранилищ ГЭС развивается сеть гидрометеонаблюдений.

В 2012 году в Дагестанском филиале создана сеть гидрометеонаблюдений на реках Сулак и Самур. Оснащены 22 гидрологических поста и 5 метеорологических станций, в 2013 году будет осуществляться их опытная эксплуатация.

На Саяно-Шушенской ГЭС установлен гидрометеорологический пост в водохранилище в районе Плавбазы и метеостанция на гребне плотины. Выполнен проект привязки по установке АПП в рамках первого этапа создания центра гидрометеорологического прогнозирования ГЭС на реках: Большой Енисей, Малый Енисей, Кызыл-Хем, Ус, Хемчик, Элегест.

Начата реализация научно-исследовательской работы «Оптимизация использования водных ресурсов Волжско-Камского каскада».

1. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон 261-ФЗ от 23 ноября 2009 года // Российская газета. – Федеральный выпуск № 5050.

2. Об утверждении требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования: Приказ Минэнерго РФ от 19 апреля 2010 года № 182. – URL: [consultant.ru/law/hotdocs/9298.html](http://consultant.ru/law/hotdocs/9298.html) (дата обращения 5.02.14).

3. Методика энергетического обследо-



вания ГЭС. – М.: ОАО «НИИЭС», 2009. – 32 с.

4. Типовая программа энергетических обследований ГЭС: РД153-34.2-09.165-00. – М.: ОАО «РусГидро», 2000. – 8 с.

5. Гидроэлектростанции. Энергоэффективность и энергосбережение. Основные требования: Стандарт организации СТО РусГидро 04.02.75-2011. – М.: Стандарты организаций, 2011. – 63 с.

6. Программа в области энергосбережения и повышения энергетической эффек-

тивности ОАО «РусГидро» на 2010–2015 годы. – М.: ОАО «РусГидро», 2010. – 19 с.

Материал поступил в редакцию 10.02.14.

*Грицан Виталий Викторович, ведущий инженер аналитического центра ОАО «РусГидро», отделение энергоаудита*  
Тел. 8-967-049-10-39

*E-mail: gricanvv@niies.ru*

*Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор*

*Тел. 8 (499) 976-29-62*

*E-mail: kozlovdv@mail.ru*

УДК 502/504:627.8

**О. Д. РУБИН, С. П. НОВИКОВ, Ю. Б. ШПОЛЯНСКИЙ**

ОАО «НИИЭС» («Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»)

**С. Е. ЛИСИЧКИН**

ООО «ИЦ СКТЭ» («Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике»)

## **ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕВЕРНОЙ ПРИЛИВНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НАПЛАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ**

*В проекте Северной приливной электростанции применены новые технические решения, наиболее значимые из которых заключаются в разработке нового типа ортогональной турбины, новой конструкции наплавных железобетонных блоков с наклонной днищевой плитой, способа посадки блоков на естественное подводное основание без его предварительной подготовки, способа баллаستировки наплавных блоков и др. Выполнено расчетное обоснование новых технических решений, в том числе на основе разработанных пространственных конечно-элементных моделей.*

*Наплавные железобетонные блоки, новые технические решения, ортогональная турбина, посадка на естественное основание, наклонная днищевая плита блока, способ балластировки, остойчивость при транспортировке, устойчивость при посадке на основание и эксплуатации, напряженно-деформированное состояние, трехмерные конечно-элементные модели.*

*In the design of the Northern tidal power station new engineering solutions are used, the most important of them is the development of a new type of the orthogonal turbine, new design of floating reinforced concrete units with an inclined bottom plate, method of units seating on the natural underwater base without its preliminary preparation, ballasting method of floating units etc. The rated substantiation of new engineering solutions is fulfilled including on the basis of the developed spatial finite-element models.*

*Floating reinforced concrete units, new engineering solutions, orthogonal turbine, seating on the natural base, inclined bottom unit plate, method of ballasting, stability under transportation, steadiness under seating on the base and operation, mode of deformation, three-dimensional finite-element models.*