

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ВОДОХРАНИЛИЩ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А. Ю. Александровский, С. В. Хасянов

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия,
ayaleksand@mail.ru, has-sergei2@mail.ru

Определение влияния ограничений по скорости изменения уровня
воды в водохранилище на энергетические показатели работы
гидроэлектростанции на примере Саяно-Шушенской ГЭС.

Ввод в эксплуатацию гидроэлектростанции обычно связан с созданием водохранилища, основным назначением которого является перераспределение речного стока во времени. Влияние водохранилища на водный режим реки и, соответственно, на окружающую среду тем значительней, чем больше его абсолютный и относительный полезные объемы по сравнению со среднесуточным стоком.

Согласно Водному кодексу РФ, хозяйственная деятельность на водных объектах осуществляется в соответствии с требованиями, согласованными с заинтересованными органами исполнительной власти субъектов РФ, со специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей природной среды, государственными органами санитарно-эпидемиологического надзора, государственным органом управления использованием и охраной рыбных ресурсов и другими заинтересованными органами управления.

При этом водопользователи при использовании водных ресурсов должны соблюдать следующие условия: рационально использовать водные ресурсы; не нарушать права, предоставленные другим водопользователям; не допускать нанесения ущерба хозяйственным и природным объектам; обеспечивать безопасную эксплуатацию гидротехнических сооружений; не допускать возникновения аварийной ситуации и др.

На основании Водного кодекса РФ и Постановления правительства РФ № 349 от 22.04.2009 «Об утверждении Положения о разработке, согласовании и утверждении правил использования водохранилищ, в том числе типовых правил использования водохранилищ» использование водных ресурсов должно осуществляться согласно «Правилам использования водных ресурсов водохранилищ». Эти правила являются основным документом, регламентирующим принципы и методы управления стоком рек с максимально возможным учетом интересов всех водопользователей и безопасности гидротехнических сооружений гидроузла.

Обычно параметры и режимы работы гидроузла и водохранилища устанавливаются при разработке проекта, а для водохранилищ объемом более 10 млн м³ к моменту сдачи объекта в эксплуатацию должны быть разработаны и утверждены «Правила использования водных ресурсов водохранилища».

Как правило, на этапе проектирования или перед сдачей гидроузла в эксплуатацию для разработки «Правил» используются исходные данные,

содержащиеся в проектных материалах. На более поздних этапах разработки «Правил» исходная информация обычно дополняется или уточняется. По мере накопления опыта эксплуатации, изменения водохозяйственной обстановки, экологических требований к режиму использования стока «Правила» подлежат пересмотру.

В составе «Правил» разрабатываются диспетчерские графики и правила, которые определяют основное содержание «Правил использования водных ресурсов водохранилищ». Они являются основным средством обеспечения оптимального использования водных ресурсов с учетом интересов всех водопользователей в условиях неопределенности исходной гидрологической информации. В них регламентируется распределение воды между потребителями, регулирующие функции между гидроузлами каскада, меры по обеспечению безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений и др.

Безопасность гидротехнических сооружений гидроузла, населения и хозяйственных объектов, расположенных в долине реки ниже по течению, окружающей среды, а также надежность функционирования электроэнергетического объекта в значительной мере определяются режимом использования водных ресурсов водохранилища.

Например, характеристика динамики изменения уровня воды в водохранилище – скорость повышения или снижения горизонта в расчетном интервале времени – в диспетчерских графиках не оговаривается. Однако эта характеристика имеет важное и часто определяющее значение для безопасности гидротехнических сооружений.

Колебания уровня воды в водохранилище в процессе его эксплуатации сопровождаются перестройкой напряженно-деформированного и фильтрационного состояния массива. При быстрой сработке водохранилища в массиве могут возникать зоны избыточного давления, в которых развиваются процессы разрушения массива. При этом разрушение происходит за счет прорастания крупных проницаемых трещин, в то время как концентрация маленьких трещин может остаться прежней.

В результате этого и ряда других явлений, также оказывающих отрицательное воздействие на безопасность ГЭС, возникает необходимость использования определенных ограничений при назначении режимов работы водохранилища.

Очевидно, что применение ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище приводит к изменению режима работы водохранилища, и как следствие – к изменению режима работы гидроэлектростанции. Также изменяются показатели работы гидроэлектростанции в сравнении с вариантом, при котором эти ограничения не учитываются (уменьшаются среднегодовая выработка электроэнергии, гарантированная зимняя мощность и др.).

В настоящей статье на примере Саяно-Шушенской ГЭС рассмотрено влияние ограничения по скорости изменения уровня воды в водохранилище на энергетические показатели работы гидроэлектростанции.

Саяно-Шушенский гидроэнергокомплекс имеет большое народно-хозяйственное значение. Помимо регулирования стока преимущественно в энергетических целях, он используется для нужд водного транспорта, коммунального хозяйства, ирригации и срезки максимальных расходов воды для предотвращения наводнений.

Гидроэлектростанция расположена на р. Енисей, на границе между Красноярским краем и Хакасией и является крупнейшей по мощности электростанцией России.

Установленная мощность станции составляет 6400 МВт (10×640 МВт), среднегодовая выработка электроэнергии – 23,5 ТВтч. Станция является первой ступенью Енисейского каскада ГЭС, в который также входят Майнская ГЭС (321 МВт и 1,7 ТВтч) и Красноярская ГЭС (6000 МВт и 20,4 ТВтч).

Саяно-Шушенская ГЭС – это мощная высоконапорная гидроэлектростанция приплотинного типа. Напорный фронт образуется бетонной арочно-гравитационной плотиной – уникальное по размерам и сложности возведения гидротехническое сооружение. Конструкция высоконапорной арочно-гравитационной плотины не имеет аналогов в мировой и отечественной практике, она входит в десятку самых высоких плотин мира. Высота сооружения 245 м, длина по гребню 1074,4 м, ширина по основанию – 105,7 м и по гребню – 25 м. Плотина очерчена по напорной грани радиусом 600 м.

Устойчивость и прочность плотины обеспечивается не только действием собственного веса (60%), но и работой верхнего арочного пояса с передачей нагрузки на скальные берега (40%).

Водосбросная часть плотины длиной 189,6 м расположена у правого берега и является эксплуатационным водосбросным сооружением.

Станционная часть плотины располагается в левобережной части русла реки, общая длина составляет 331,6 м.

Проектная отметка нормального подпорного уровня (НПУ) – 540 м, форсированного подпорного уровня – 544,5 м. После завершения ремонтных работ в теле плотины (в 1997 г.) отметка НПУ была снижена до 539 м, а ФПУ – до 540 м.

Площадь водосбора бассейна реки, обеспечивающей приток к створу ГЭС, составляет 179 900 км². Среднегодовой сток в створе – 46,7 км³.

Водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС – сезонного регулирования, с полным объемом 31,3 км³, полезным объемом 15,3 км³, длиной 320 км и площадью 621 км²

Саяно-Шушенская ГЭС используется для регулирования мощности в единой энергосистеме Сибири. Согласно проектной документации, Саяно-Шушенский гидроэнергетический комплекс в энергообъединении выполняет следующие функции:

- выдачи в систему активной и реактивной мощности и энергии;
- частотного резерва мощности и аварийного резерва системы.

В настоящее время недостаточная пропускная способность электрических сетей не позволяет полностью использовать мощность Саяно-Шушенской ГЭС в энергосистеме, что в результате приводит к наличию «запертой» мощности.

В итоге, на основании выше изложенной информации было решено произвести расчеты по оценке влияния ограничения по скорости изменения уровня воды в водохранилище на энергетические показатели гидроэлектростанции для двух вариантов.

Первый вариант соответствует работе Саяно-Шушенской ГЭС в условиях недостаточной пропускной способности линий электропередач. В этом варианте максимальная мощность станции составляет 4000 МВт.

В качестве второго варианта рассматривалось использование всей установленной мощности станции 6400 МВт.

Для оценки влияния ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище были выполнены водохозяйственные и водноэнергетические расчеты, в результате которых были получены показатели работы гидроэлектростанции при различных значениях ограничений. В качестве показателей работы гидроэлектростанции приняты: $N_{\text{гар}}$ – гарантированная зимняя мощность ГЭС обеспеченностью 90%; $Э_0$ – среднееголетняя годовая выработка электроэнергии; $W_{\text{х.сбр.}}$ – среднееголетний годовой объем холостых сбросов.

Расчеты выполнялись подекадно по гидрологическому ряду наблюдений за стоком с 1903 по 2005 г.

В качестве правил управления водными ресурсами водохранилища использовались действовавшие правила. Если режим работы по диспетчерскому графику нарушал требования по ограничению скорости изменения уровня воды в водохранилище, то водо- и энергоотдача ГЭС корректировались с учетом этих ограничений. Расчеты выполнялись по разработанной в «МЭИ» программе «Каскад» [3].

Ограничения по скорости изменения уровня воды в водохранилище при сработке устанавливались для следующих месяцев: декабрь, январь, февраль, апрель.

Ограничения по скорости изменения уровня воды в водохранилище при наполнении устанавливались для следующих месяцев: май, июнь, июль.

Ограничения не устанавливались в августе, сентябре, октябре и ноябре.

Ограничения по скорости изменения уровня воды в водохранилище устанавливались одинаковыми как для летнего периода, так и для зимнего периода.

Результаты расчетов по первому варианту представлены на рисунках 1, 2 и 3.

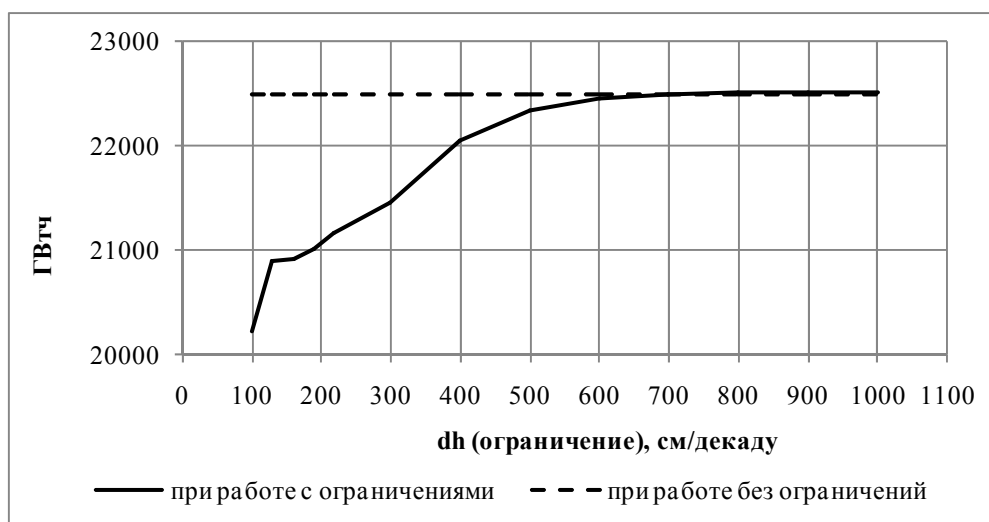


Рис. 1. Изменение среднееголетней годовой выработки Саяно-Шушенской ГЭС в зависимости от ограничения по скорости изменения уровня воды в водохранилище.

Из графика на рис. 1 можно сделать вывод, что наибольшее влияние на выработку электроэнергии Саяно-Шушенской ГЭС оказывает диапазон ограничений в пределе до 500 см в декаду. Рост выработки в диапазоне

ограничений от 100 до 500 см составляет 2150 млн кВтч, что равняется 10% среднегогодовой выработки ГЭС при работе без ограничений (22500 млн кВтч). При ограничении более 500 см в декаду влияние не так значительно, а после 700 см – практически не заметно.

Снижение выработки на ГЭС в результате уменьшения допустимой скорости изменения уровня воды в водохранилище может быть объяснено уменьшением регулирующей способности водохранилища, что приводит к увеличению холостых сбросов воды и, как следствие, к уменьшению эффективности использования речного стока (рис. 2).

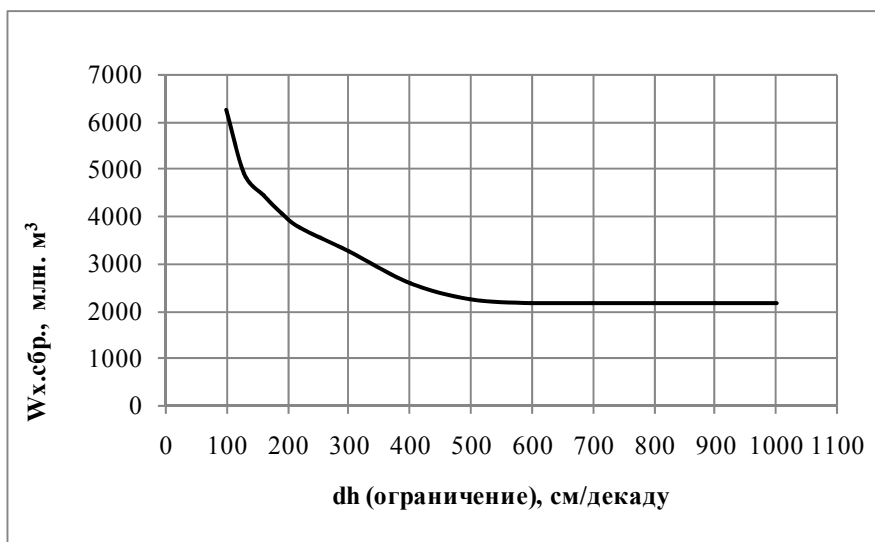


Рис. 2. Изменение холостых сбросов Саяно-Шушенской ГЭС в зависимости от ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище.

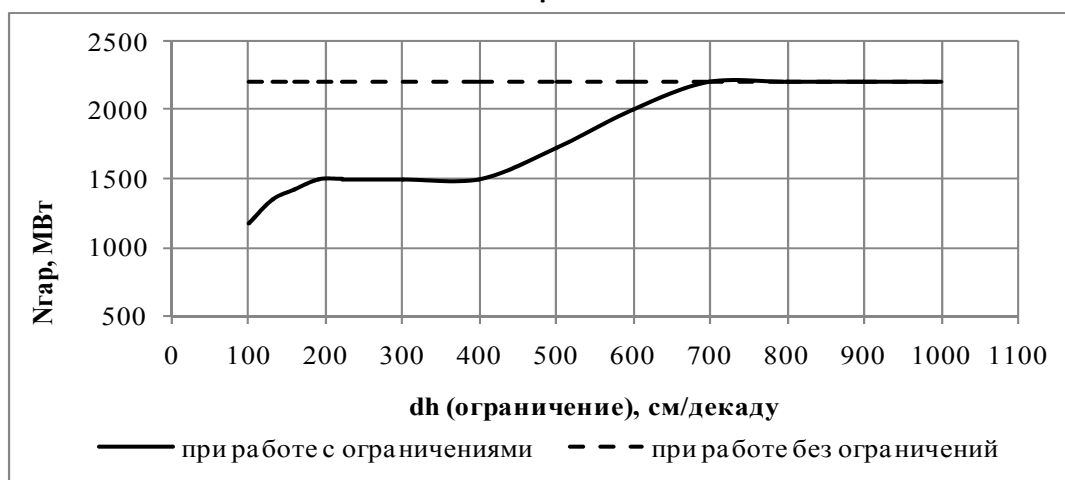


Рис. 3. Изменение гарантированной зимней мощности Саяно-Шушенской ГЭС в зависимости от ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище.

На рис. 3 видно, что на гарантированную мощность ГЭС влияет диапазон ограничений до 700 см в декаду, причем это влияние достаточно значительное. Уменьшение допустимого колебания воды в водохранилище с 700 до 400 см

приводит к снижению гарантированной мощности на 700 МВт, или более чем на 30%. Это приводит к снижению энергоотдачи ГЭС в зимний период, когда имеет место максимум электропотребления. В результате снижается эффективность использования ГЭС в покрытии пиков нагрузки и регулировании частоты в энергосистеме, что приводит к уменьшению маневренных мощностей в энергосистеме.

Результаты расчетов по второму варианту представлены на рисунках 4–6.

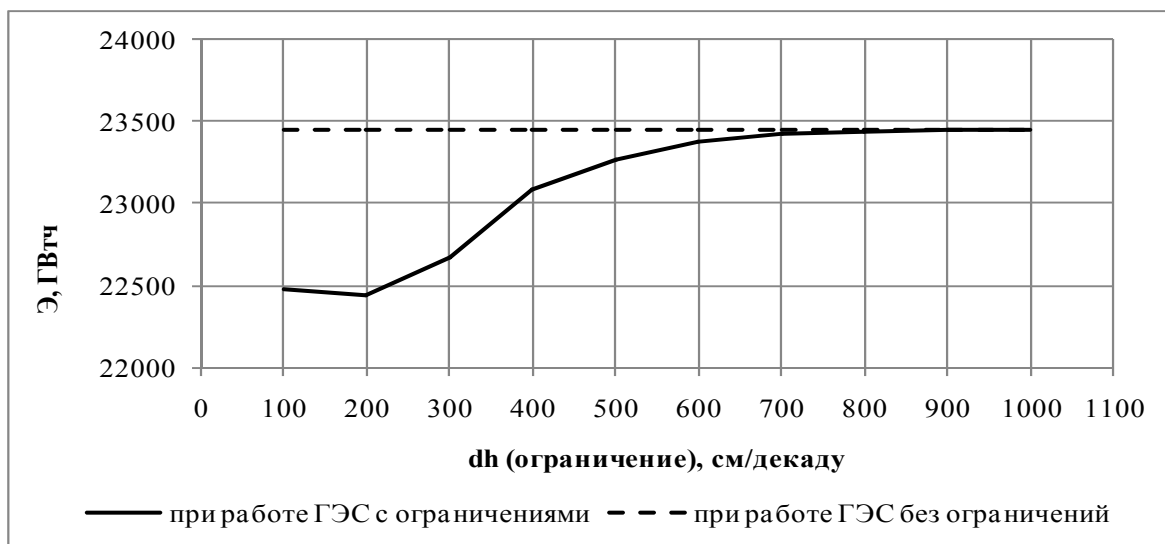


Рис. 4. Изменение среднегодовой выработки Саяно-Шушенской ГЭС в зависимости от ограничения по скорости изменения уровня воды в водохранилище.

Во втором варианте среднесуточная выработка ГЭС имеет большее значение, чем в первом, в результате более эффективного использования речного стока (рис. 4).

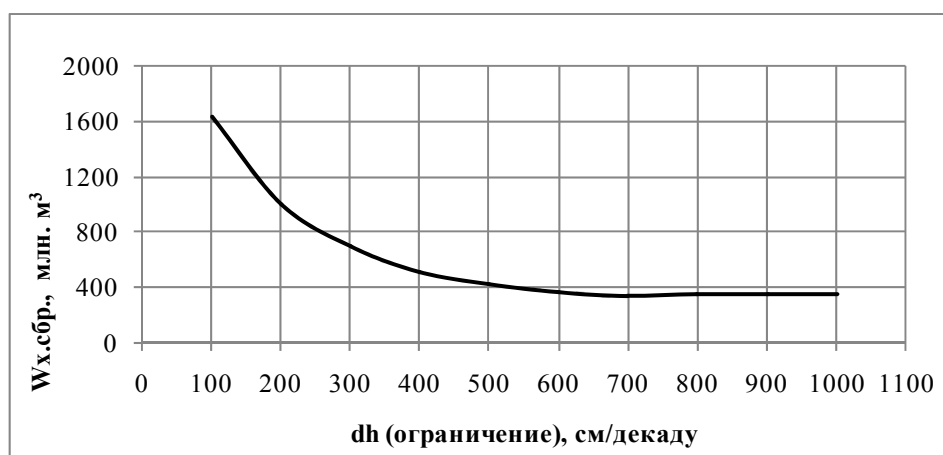


Рис. 5. Изменение холостых сбросов Саяно-Шушенской ГЭС в зависимости от ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище.

В сравнении с первым вариантом характер зависимости холостых сбросов воды от допустимых скоростей изменения уровня воды в водохранилище практически не изменился (рис. 5). В этом варианте диапазон ограничений, оказывающий влияние на среднесуточную выработку ГЭС, несколько расширился. Установление ограничения в размере 600 см в декаду, в отличие от первого варианта, приводит к снижению выработки на ГЭС в размере 80 млн кВтч (в первом варианте это значение составляет менее 10 млн кВтч).

На рис. 6 представлено влияние ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище на гарантированную зимнюю мощность ГЭС для второго варианта. Вид данной характеристики практически не отличается от первого варианта.

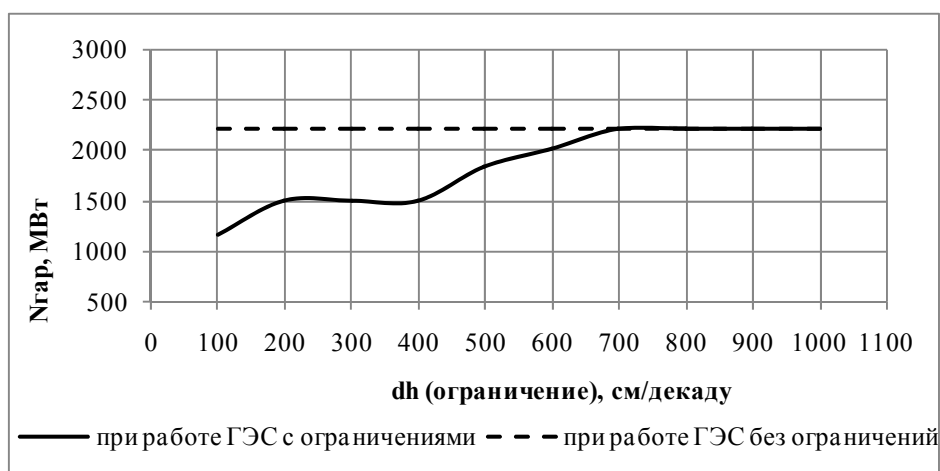


Рис. 6. Изменение гарантированной зимней мощности Саяно-Шушенской ГЭС в зависимости от ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище.

Проведенные расчеты показали, что установление ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище может достаточно сильно повлиять на энергетические показатели работы Саяно-Шушенской ГЭС, в особенности на гарантированную зимнюю мощность ГЭС. В результате установления таких ограничений может возникнуть проблема нерационального использования водных ресурсов водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС и, как следствие, снижения эффективности использования станции в энергосистеме Сибири.

Снижение энергетических показателей приводит к уменьшению прибыльности ГЭС. Это снижение в основном наблюдается в зимний период, когда цена на мощность и электроэнергию несколько больше, чем в летний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурашов С.В., Дубинина В.Г., Александровский А.Ю. Требования рыбного хозяйства и их учет при разработке правил использования водных ресурсов водохранилищ ГЭС. Л: Гидротехническое строительство, 2009. № 12. С. 28–32.

2. *Савич А.И., Бронштейн В.И., Ильин М.М.* Геомониторнг на участках крупных гидротехнических сооружений в районах повышенного геодинамического риска. Л: Гидротехническое строительство, 2000. № 4. С. 50–55.
3. Программный комплекс для проведения водохозяйственных и водноэнергетических расчетов каскадов ГЭС «Каскад». Свидетельство о государственной регистрации в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам программы для ЭВМ № 2011613087 от 19 апреля 2011 г.