



УДК 627.81

Ситнов Александр Николаевич, профессор, д.т.н., зав. кафедрой водных путей и гидротехнических сооружений

Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Агеев Сергей Олегович, главный геолог (заместитель начальника) службы главного маркшейдера

ФБУ «Администрация Волжского бассейна»
603001, г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, д. 21 «Б».

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ПОДДЕРЖАНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ СУДОХОДСТВА В НИЖНЕМ БЪЕФЕ НИЖЕГОРОДСКОГО НИЗКОНАПОРНОГО ГИДРОУЗЛА

Аннотация. Проектируемый низконапорный гидроузел призван решить проблему судоходства на сорокакилометровом участке от Городецкого гидроузла до границ Нижнего Новгорода путем подъёма уровня воды до проектной отметки 68,0 м БС, обеспечивая глубины на порогах шлюза и на самом участке. При этом режим прохождения расходов воды через створ низконапорного гидроузла будет в основном соответствовать режиму сбросов с Нижегородской ГЭС, не улучшая условий судоходства в нижнем бьефе по сравнению с существующим состоянием. В статье предложен подход к созданию улучшенных условий не только в верхнем, но и в нижнем бьефах путем регулирования сбросных расходов через створ низконапорного гидроузла в суточном разрезе.

Ключевые слова: безопасность судоходства, транспортный попуск, расходы воды, уровни воды, амплитуда колебаний, суточное регулирование, неравномерность сбросов воды.

Проблема судоходства на участке Городец – Нижний Новгород (нижний бьеф Нижегородской ГЭС (ННГЭС) в условиях функционирования Единой глубоководной системы Европейской части Российской Федерации (ЕГС ЕЧ РФ) возникла после начала эксплуатации Городецкого гидроузла и к настоящему времени стала критичной (особенно остро данная проблема стоит в маловодные годы). Ее решение определено Стратегией развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года, Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года, Федеральным проектом «Внутренние водные пути» Комплексного плана модернизации и расширения магистральной транспортной инфраструктуры на период до 2024 года в целях устранения инфраструктурного ограничения на лимитирующем участке Единой глубоководной системы и увеличения пропускной способности внутренних водных путей, через строительство Нижегородского низконапорного гидроузла (ННГУ) в районе 890,5 км судового хода в 40,5 км ниже по течению от створа плотины Городецкого гидроузла.

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Секция III Водные пути, порты и гидротехнические сооружения

Причинами проблемы стали глубинная эрозия вследствие сбросов больших и неравномерных расходов осветленной воды из Горьковского водохранилища, дноуглубительные и др. работы на участке, спровоцировавшие посадку уровня воды и, как следствие, недостаточные глубины на порогах шлюзов и самом участке.

Проектирование Нижегородского низконапорного гидроузла находится на заключительном этапе и имеет следующие принципиальные решения: автоматизированные затворы водосливной плотины низконапорного гидроузла, обеспечивающие практически постоянные уровни воды верхнего бьефа ННГУ на абсолютной отметке 68,0 м и повторяющийся в основном режим расходов, поступающих с Нижегородской ГЭС, хотя и с меньшей интенсивностью [1]. Это приведет к тому, что суточная амплитуда колебаний как сбрасываемых в нижний бьеф ННГУ расходов, так и уровней воды нижнего бьефа увеличится по сравнению с существующими условиями, а минимальные уровни воды в нижнем бьефе снизятся [1].

В итоге можем получить развитие во времени аналогичных процессов, имеющих место в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС. Во избежание (смягчения) вышеописанных явлений ставится актуальная задача минимизировать амплитуду колебаний, сбрасываемых в нижний бьеф ННГУ расходов при их относительном постоянстве в суточном разрезе и, как следствие, стабилизировать колебания уровней воды, обеспечив тем самым проектные глубины ниже ННГУ. Это задача комплексная, включающая совокупность этапов, каждый из которых предполагает разработку методических подходов к решению.

В целом задача решается как для конкретных суток, так и может применяться для решения внутри них в соответствии с математической моделью, в которой в качестве цели ставится минимизация амплитуды колебаний расходов, сбрасываемых в нижний бьеф ННГУ и предполагающая в каждый из периодов суточного регулирования минимальное отклонение назначенных расходов от среднесуточных расходов через ННГУ.

Анализ бытовых гидрографов Нижегородской ГЭС по часам, дням, месяцам навигации 2017 г. показал четко выраженную динамику изменения суточных расходов, подчиняющуюся интересам энергетики, в которой выделяется период пониженных расходов, зачастую при определённых условиях, не обеспечивающих транспортные цели. Пониженные расходы наблюдаются преимущественно в ночные и утренние часы, период больших сбрасываемых расходов наблюдается с 8-9 до 15-16 часов, в остальное время значения расходов приближены к среднесуточным величинам.

Следовательно, решение задачи сводится к трансформации суточного гидрографа ННГЭС в суточный гидрограф ННГУ при достижении поставленной цели с учетом наложенных ограничений. В том числе:

- во-первых, необходимо соблюсти условие транзитности, когда объем суточного стока, проходящего через Городецкий гидроузел с его корректировкой на потребление и приток воды на водохранилище, соответствует объему стока, сбрасываемого через ННГУ;

- во-вторых, расход воды, сбрасываемый в нижний бьеф ННГУ, не должен быть ниже транспортного попуска, принятого равным $1140 \text{ м}^3/\text{с}$ [2]. Этим обеспечивается потребность судоходства в глубинах нижнего бьефа ННГУ не меньше проектных значений;

- в-третьих, уровни воды на водохранилище в створе ННГУ должны находиться в диапазоне значений от минимальных (68,0 м БС) до максимально возможных по условиям ветро-волнового режима, конструктивных параметров затворов ННГУ и др. характеристикам. По проектным решениям с учетом возможного нагона ветровой волны в створе ННГУ повышение уровня воды равно 0,6 м [1] и при отметке верха затвора 69,0 м БС [3] принята отметка максимального уровня воды 68,4 м БС.

Для решения задачи по математической модели требуется знание отметок кривых свободных поверхностей воды (СПВ) на участке при разных расходах ННГЭС и отметках уровней воды в створе ННГУ. При расчете кривых СПВ применяются уравнения неравномерного движения, учитывающие действие силы тяжести и линейные потери

напора в условиях зависимости модуля сопротивления от среднего уровня воды на расчетном участке. Расчеты выполняются по методике А.В. Караушева [4], использованной в работе [3].

Алгоритм нахождения рационального решения в соответствии с математической моделью следующий:

1. Вначале составляется плановый суточный гидрограф ГЭС. Для этого по плановым часовым выработкам мощности ННГЭС на предстоящие сутки с учетом обоснованного резерва на потерю мощности при повышении уровней воды верхнего бьефа ННГУ против базовых 68,0 м БС и разработанных уравнений регрессии связи расхода воды и мощности ГЭС определяются часовые расходы ННГЭС.

2. Составляется трехступенчатый график сбросов расходов через ННГУ, обеспечивающий требования условий математической модели суточного регулирования стока. Для этого необходимо иметь обоснованные способы и параметры «сглаживания» неравномерных попусков ННГЭС в течение суток и навигации в целом. Первый состоит в возможности внутрисуточного регулирования величины расходов через ННГУ, при котором избытком объемов воды над среднесуточным значением покрывается их недостаток в «провальные» (ночные – утренние) часы. В связи с тем, что «провальные» расходы предшествуют избыточным и временные рамки текущих суток не позволяют использовать накопившиеся объемы воды на покрытие дефицитов, нужно создавать для этого необходимый запас, переходящий с предыдущих суток на текущие и, соответственно, с текущих суток на последующие.

3. В ситуации малой водности внутрисуточное регулирование может не решить вопрос обеспечения необходимого транспортного попуска, а лишь в определённой степени ослабить негативное влияние «провальных» попусков через ННГЭС. Обеспечение транспортного попуска в таких ситуациях возможно за счет накапливания воды в предыдущие периоды большей водности с максимальным приближением момента накопления запаса воды к маловодному периоду. Так, по результатам анализа стока через ННГЭС в навигацию 2017 г. дефицит (избыток) воды на покрытие транспортного попуска в ночные-утренние часы составил: за май ÷ июнь - избыток 20 - 55 млн. м³., за август ÷ ноябрь - дефицит 4 - 6 млн. м³. Проведённые расчеты с выполнением требований не превышения предельных уровней воды в створе ННГУ показали, что переходящий запас составляет около 10 млн. м³.

Другой важный вопрос, который необходимо решить для обеспечения не превышения допустимых уровней воды у гидроузла, заключается в определении объемов воды на водохранилище выше бытовой кривой свободной поверхности воды с отметкой 68,0 м БС в створе ННГУ и установлении соответствия между накопленными объемами и отметкой уровня. При этом накопленный объем фиксируется в течение всех суток в зависимости от расходов воды через ННГЭС и ННГУ.

Решение задачи имеет многовариантный характер и обладает большой трудоемкостью. Результатом анализа способов решения является следующий подход:

- в первом периоде назначаются расходы с учетом переходящих объемов воды с предыдущих суток для покрытия нехватки воды в этом периоде и максимальным приближением расхода ННГУ к среднесуточному значению для не превышения критических объемов;

- во втором периоде назначаются расходы ННГУ из условия выполнения транзитности стока;

- в третьем периоде назначаются расходы ННГУ с учетом накопления переходящего объема воды на следующие сутки и не превышением критических объемов в периоде и обеспечением транспортного попуска.

Результат решения задачи на примере регулирования стока ННГУ в условиях навигации 2017 г. (10.10.2017 г.) показан на рисунке 1, отражающем динамику суточного изменения расходов воды через ННГЭС, ННГУ и уровней воды в нижнем бьефе ННГУ.

4. Для реализации предложенного режима решается задача регулирования стока затворами ННГУ в условиях совпадения моментов регулирования с началом – окончанием принятых периодов в соответствии с их трехступенчатой формой. Для этого рассчитывается пропускная способность водосливных отверстий при разных отметках верхнего и нижнего бьефов ННГУ. Расчет хода уровней воды в бьефах ННГУ выполняется по разработанному алгоритму. Методика определения пропускной способности затворов и величина их открытия определяется существующими нормативно-техническими материалами, использованными в работе [3], и адаптирована к условиям функционирования ННГУ.

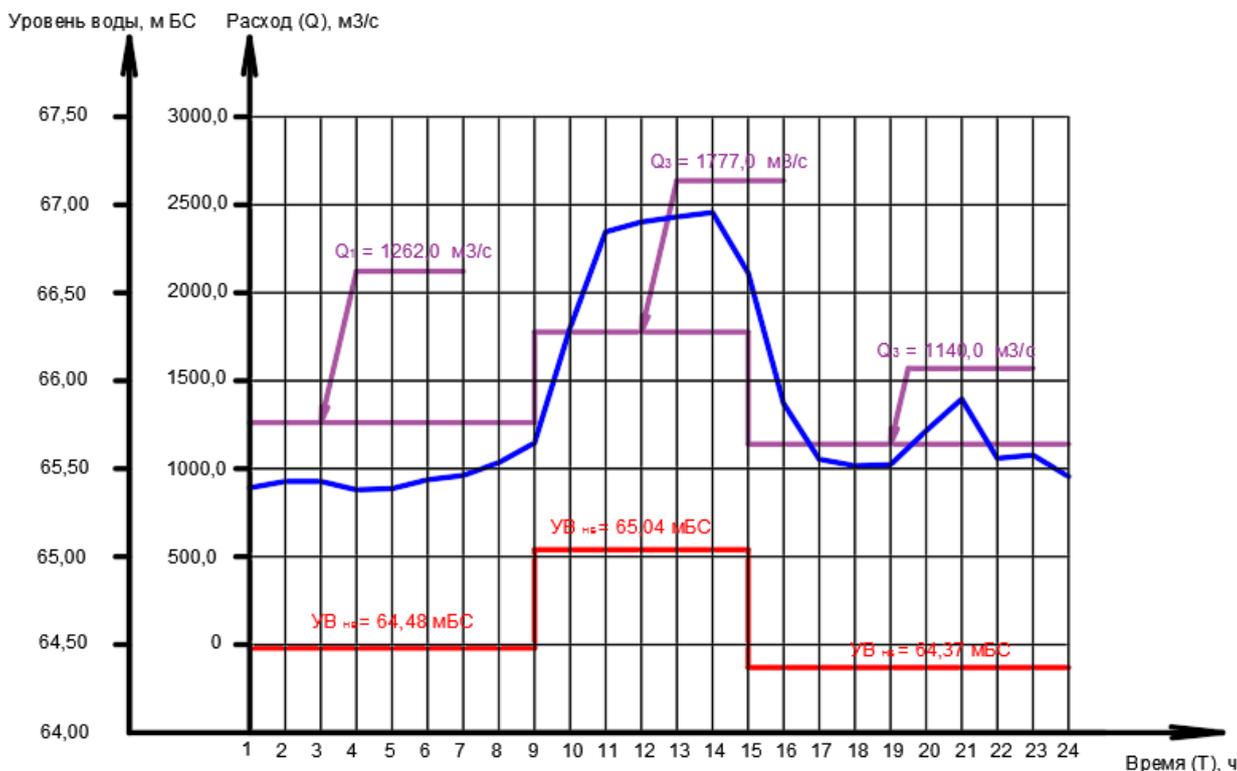


Рис.1 График хода расходов ННГЭС, ННГУ и хода уровней воды НБ ННГУ (10.10.2017 г.).

Таким образом, изложенные выше методические подходы суточного регулирования стока ННГУ позволяют обеспечить достижение поставленной цели, направленной на улучшение гидравлических и гидрологических условий нижнего бьефа ННГУ, при которых за счет более равномерного и щадящего режима попусков воды достигаются необходимые для судоходства условия и глубины, а также создаются предпосылки для смягчения эрозионных процессов на нижележащем участке.

Список литературы:

1. Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла. Этап проектных работ. Моделирование гидравлических режимов р. Волги на участке от Нижегородской ГЭС до г. Н. Новгород. Отчет 0715-000-ГИД4-1.1.01/09.14 - ОАО «ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕГЕТИКИ ПОВОЛЖЬЯ», 2015. – 76 с.
2. Ситнов, А.Н. Обоснование параметров обеспеченности водохозяйственных балансов и режима работы водохранилища Нижегородского низконапорного гидроузла / А.Н. Ситнов, Н.В. Кочкурова, Д.А. Мильцын // Вестник ВГАВТ. Вып. 50. - Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2017. – с. 23-31.
3. Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла. Проектная документация. Этап 2. 16-ти пролётная водосбросная плотина с 6-ти пролётным водосбросом-регулятором, с сопряжениями, эксплуатационной автодорогой по гребню, подкрановыми

путями, подводящим и отводящим каналами. 001-РР-2-1.01/06.17. -
ООО «ВОЛГАЭНЕРГОПРОЕКТ», 2017. – 129 с.

4. Караушев А.В. Речная гидравлика: учеб. Пособие. - Ленинград.:
Гидрометеорологическое издательство, 1969. – 418 с.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO SOLVING THE SAFETY CONDITIONS OF NAVIGATION IN THE LOWER REEF OF THE NIZHNY NOVGOROD LOW-PRESSURE HYDRAULIC UNIT

Aleksandr N. Sitnov, Sergey O. Ageev

Key words: shipping safety, transport release, water consumption, water levels, amplitude of fluctuation, daily regulation, uneven discharge of water.

Annotation. The designed low-pressure hydroelectric complex is designed to solve the problem of navigation on a forty-kilometer section from the Gorky hydroelectric complex to the borders of Nizhny Novgorod by raising the water level to a design level of 68.0 m BS, providing depth at the thresholds of the lock and on the section itself. At the same time, the regime of water flow passage through the low-pressure hydroelectric station target will mainly correspond to the regime of discharges from the Nizhny Novgorod hydroelectric station, without improving the conditions of navigation in the downstream basin in comparison with the existing state. The article proposes an approach to creating improved conditions not only in the upper, but also in the downstream by regulating the discharge flow through the target of the low-pressure hydraulic system in a daily section.