



УДК 627.15

Агеев Сергей Олегович, главный геолог (заместитель начальника) службы главного маркшейдера, ФБУ «Администрация Волжского бассейна»,

Федеральное бюджетное учреждение «Администрация Волжского бассейна внутренних водных путей» (ФБУ «Администрация Волжского бассейна»)
603001 г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, д. 21 «Б».

Ситнов Александр Николаевич, профессор, зав. кафедрой водных путей и гидросооружений ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

РЕГУЛИРОВАНИЕ СБРОСА ВОДЫ НА НЕРАЗМЫВАЕМОЙ МОДЕЛИ В СОСТОЯНИИ ПОДПОРА

Ключевые слова: безопасность судоходства, транспортный попуск, расходы воды, неравномерность сбросов воды, модель русловой площадки, эксперимент, напор на водосливе.

Аннотация. В тезисах приводятся результаты лабораторного эксперимента, проведенного для установления скоростных и временных параметров движения водного потока при разных расходах воды на входе площадки, разных уклонах свободной поверхности воды на участке, динамики изменения высотных отметок уровня воды (напора) на водосливе на выходе в целях использования полученных результатов для разработки алгоритма регулирования сбросных расходов на выходе участка.

В ряде случаев неравномерность попусков воды через турбины ГЭС приводит к большому колебанию уровней в нижнем бьефе, что может затруднять судоходство. Особенно это актуально на акваториях небольших размеров, к которым можно отнести водохранилище, создаваемое Нижегородским низконапорным гидроузлом (ННГУ). Кроме того, при эксплуатации ННГУ неравномерность сбрасываемых расходов с Нижегородской ГЭС (НГЭС) будет сказываться и на гидрологическом режиме нижнего бьефа ННГУ, и на формировании русла этого участка реки.

В работе [1], выполненной в рамках разработки проектной документации для строительства ННГУ, приводятся расчетные характеристики расходов и уровней в верхнем (ВБ) и нижнем (НБ) бьефах ННГУ при суточном и недельном регулировании мощности НГЭС в проектных и бытовых условиях. Проектные условия определяются строительством и функционированием низконапорного гидроузла, бытовые – естественным состоянием реки. Для анализа приняты створы: нижний бьеф НГЭС (НБ

НГЭС); верхний бьеф ННГУ (ВБ ННГУ); нижний бьеф ННГУ (НБ ННГУ); гидропост Нижний Новгород (г/п НН).

Анализ расчетных параметров, связанных с максимальным и минимальным значениями уровней воды, суточной амплитудой колебаний уровней, максимальным и минимальным расходами воды для проектных условий при отметке уровня воды в водохранилище 68,0 м БС и в бытовом состоянии при среднесуточном расходе, сбрасываемом с НГЭС, равном транспортному попуску 1140 м³/с, показывает, что уровни воды (УВ) при проектных условиях в створах верхнего бьефа (НБ НГЭС, ВБ ННГУ) выше бытовых, а в створах нижнего бьефа (НБ ННГУ, г/п НН) максимальные уровни превышают бытовые, а минимальные опускаются ниже бытовых (например, в створе НБ ННГУ на 0,45 м выше и на 0,16 м ниже бытовых). Отсюда следует, что создание ННГУ решает проблему повышения отметок воды и увеличения глубин только на участке создаваемого водохранилища. На участке НБ ННГУ - г/п НН, где сохраняется естественный речной сток, возможно дальнейшее снижение отметок УВ и, соответственно, уменьшение глубин.

Суточная амплитуда колебаний уровней при проектных условиях в створах верхнего бьефа создаваемого водохранилища на 0,48 м и 0,38 м меньше бытовых (соответственно створы НБ НГЭС и ВБ ННГУ) и на 0,61 м и 0,17 м выше бытовых в створах нижнего бьефа (соответственно НБ ННГУ и г/п НН). Поэтому на акватории создаваемого водохранилища амплитуда колебаний УВ снижается, что не скажешь про участок реки, расположенной ниже ННГУ. В НБ ННГУ следует ожидать существенного увеличения амплитуды колебаний УВ, она несколько снизится у г/п НН.

Расходы воды при проектных и бытовых условиях в створе НБ НГЭС не меняются и амплитуда значений расходов одинакова. Однако, в бытовых условиях амплитуда расходов уменьшается значительно от НБ НГЭС к ВБ ННГУ (от 2213 м³/с до 472 м³/с), а в нижнем бьефе от НБ ННГУ до г/п НН – незначительно (от 472 м³/с до 443 м³/с). В проектных условиях - наоборот: в верхнем бьефе амплитуда гасится на 45 % (с 2213 м³/с до 1209 м³/с) и остается практически неизменной в нижнем бьефе (уменьшается с 1205 м³/с до 1132 м³/с).

В результате имеем: создавая ННГУ, неравномерность сбрасываемых расходов сохраняется на всем исследуемом участке, при этом амплитуда расходов в проектных условиях для НБ более чем в два раза превышает амплитуду расходов в бытовых условиях. Это говорит о том, что поставленная цель по ликвидации лимитирующего участка в створах НБ НГЭС ÷ ВБ ННГУ достигается, но вместе с тем, неравномерность сбросов в НБ ННГУ влечет за собой негативные последствия в нижнем бьефе ННГУ (высокие скорости, деформации русла), вплоть до Нижнего Новгорода.

Для нахождения рационального решения по сглаживанию неравномерности сбросов воды с НГЭС в НБ ННГУ и в продолжение изучения проблематики безопасности судоходства на участке Городец – Нижний Новгород после строительства низконапорного гидроузла [2, 3], был проведен эксперимент на модели русловой площадки в лабораторных условиях (рис. 1) на базе гидротехнической лаборатории кафедры водных путей и гидротехнических сооружений ВГУВТ.



Рис. 1 -- Модель русловой площадки

Суть эксперимента заключается в установлении скоростных и временных параметров движения водного потока при разных расходах воды на входе, разных уклонах свободной поверхности воды на участке, динамики изменения высотных отметок уровня воды (напора) на водосливе на выходе.

Цель эксперимента - оценить связь между расходами воды на входе площадки и величиной слоя воды над водосливом, что позволит сделать вывод о возможности регулирования стока на выходе водного потока, используя характеристики потока на входе.

Модель представляет собой участок русла реки (рис. 2): начальный створ модели - Нижегородская ГЭС в натуре, конечный створ – низконапорный гидроузел. В начальном створе (вход на площадку) установлен водослив Томсона, в конечном створе (выход из нее) – водослив с тонкой стенкой, высоту которой можно регулировать, заглубляя её в щель. Технология проведения эксперимента следующая: на вход площадки подаются различные расходы. В ходе эксперимента определяются характеристики волны попуска: скорости распространения волны и время ее добегания до конечного створа; формирующийся при каждом опыте уклон свободной поверхности воды (СПВ), создающийся напор на водосливе (высота слоя воды над порогом водослива).

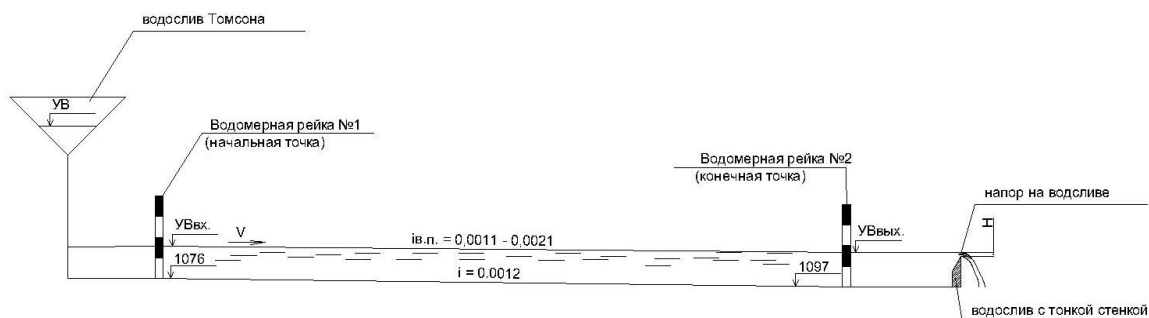


Рис. 2 – Схема русловой площадки

Опыты проводятся для 3-х положений подвижной стенки водослива в конце площадки, в каждом опыте - по несколько вариантов:

1 – стенка водослива на выходе полностью утоплена в заглубление, т.е. высота водослива $P=0$. На вход подается начальный (минимальный) расход воды. Дается время на достижение установившегося положения СПВ; фиксируется её начальное положение. После снятия результатов расход увеличивается, снимаются параметры прохождения

волны и дается время на её стабилизацию, определяются положение СПВ и параметры потока.

2 – стенка водослива на выходе поднимается, устанавливается промежуточная высота водосливного порога $P > 0$. На вход подается увеличенный расход воды, действия повторяются.

3 – стенка водослива на выходе полностью поднимается до максимальной отметки. На вход подается следующий увеличенный расход воды, также снимаются показания.

Для определения величины подаваемого расхода на входе модели установлен водослив Томсона, расход через который можно посчитать по формуле

$$Q_{\text{вх}} = m H_{\text{вх}}^{5/2} \operatorname{tg} \theta \sqrt{2g}, \quad (1)$$

где: m – коэффициент расхода водослива Томсона; $H_{\text{вх}}$, м – напор на водосливе; θ – угол наклона боковой стенки; g , м/с² – ускорение свободного падения.

На выходе модели установлен водослив с тонкой стенкой, расход определяется формулой

$$Q_{\text{вых}} = m b \sqrt{2g} H_{\text{вых}}^{3/2}, \quad (2)$$

где: H , м – напор на водосливе с тонкой стенкой; m – коэффициент расхода водослива; b , м – ширина водослива; $H_{\text{вых}}$, м – напор на водосливе.

Результаты эксперимента можно представить графиками зависимости средних скоростей течения воды от подаваемых расходов на входе русловой площадки $v_{\text{ср}} = f(Q)$ и высоты слоя воды на водосливе от подаваемых расходов $H = f(Q)$, рис. 3.

Полученные в ходе эксперимента данные подверглись корреляционному анализу по программе ФАКТОР, целью которого является выявление оценки силы связи между случайными величинами (признаками), которые характеризует некоторый реальный процесс. Теснота связи между напором на водосливе на выходе $H_{\text{вых}}$ и расходами воды на входе $Q_{\text{вх}}$ очень сильная и оценивается коэффициентом корреляции 0,98.

Основные выводы, полученные в результате проведенных опытов, сводятся к следующему:

1. Определена достаточно тесная связь между подаваемым расходом на входе площадки $Q_{\text{вх}}$ и формирующимся напором на водосливе H . Это дает основание для осуществления регулирования расходов воды через водослив для уменьшения неравномерности сбросов в НБ ННГУ.

2. Оптимизация расходов воды на выходе может быть достигнута путем рационального усреднения входного гидрографа, используя данные предшествующих исследований [1, 2, 3].

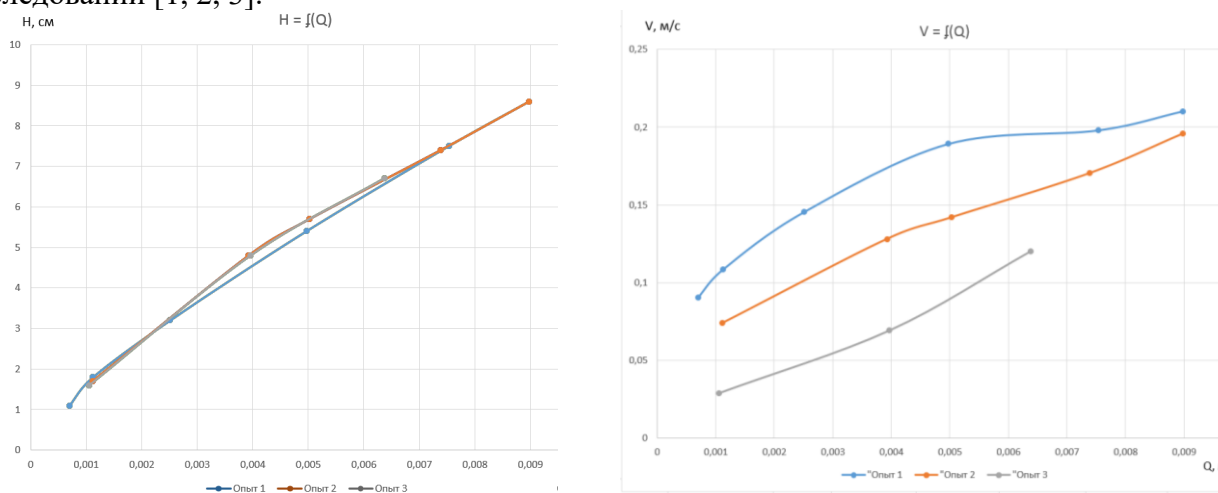


Рис. 3 - Графики зависимости $v=f(Q)$ и $H=f(Q)$

Проведенный эксперимент подтверждает необходимость выработки методических подходов для расчета уровней воды в створе ННГУ при различных попусках через НГЭС, и дальше - для подачи в НБ ННГУ равномерного расхода в течение суток. Эта задача осуществима путем разработки алгоритма маневрирования автоматическими затворами на водосливе ННГУ.

Список литературы:

- [1] Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла. Этап проектных работ. Инженерно-гидрометеорологические изыскания. 153-038/-ННГУ-ИГИ.ИЗ.- ООО «Техтрансстрой», Самара, 2018. – 178 с.
- [2] Агеев С.О., Матюгин М.А. Анализ проблемных вопросов безопасности судоходства на участке Городец – Нижний Новгород до и после строительства Нижегородского низконапорного гидроузла. // Труды конгресса «Великие реки - 2017». Вып. 6. – Н. Новгород: Изд – во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2017. – 5 с.
- [3] Агеев С.О. Анализ изменений навигационных расходов через Нижегородскую ГЭС в навигацию 2017 года и рекомендации по улучшению водного режима участка р. Волги ниже створа Нижегородского низконапорного гидроузла (ННГУ). // Труды конгресса «Великие реки - 2017». Вып. 6. – Н. Новгород: Изд – во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2017. – 7 с.

REGULATION OF WATER ON NERAZMYVAEMOJ MODELS ABLE TO PROP

S.O. Ageev, A.N. Sitnov

Key words: safety of navigation, transport, discharge, costs of water, uneven water discharge, the sediment transport model of the site, experiment, the head on the Weir.

In theses are the results of an experiment conducted in order to establish the speed and timing of the movement of the water flow in different water costs, different slopes free surface water on the plot, the dynamics of high-rise watermarks (pressure) at vodoslive.