

УДК 627.423:626.43

**Ситнов Александр Николаевич**<sup>1</sup>, заведующий кафедрой ВПиГС, профессор, д.т.н.  
e-mail: stnv1952@rambler.ru

**Кочкурова Наталия Викторовна**<sup>1</sup>, доцент, к.т.н. кафедры ВПиГС  
e-mail: kochkurovanataly@mail.ru

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

### УКРУПНЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И СТРОИТЕЛЬСТВА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ ШЛЮЗА НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ НИЖНЕГО БЬЕФА ГОРОДЕЦКОГО ГИДРОУЗЛА

*Аннотация.* Приведены возможные результаты влияния канализирования русла и строительства дополнительной камеры шлюза на пропускную способность нижнего бьефа Городецкого гидроузла. Отражена зависимость уровня режима нижнего бьефа от расходов воды через Нижегородскую ГЭС, установлена на основе обработки статистических материалов зависимость между ними. Назначена глубина судоходных прорезей и обоснованы посадки уровней воды на участке, глубина и проходная осадка судов через порог лимитирующего шлюза. Установлена статистическая зависимость времени ожидания судами шлюзования при строительстве дополнительной камеры с пониженным порогом и дноуглублением участка и определены затраты времени на ожидание шлюзования в существующих условиях и при росте объемов грузов через шлюзованную систему. Сделаны выводы по оценке влияния эксплуатационных условий на пропускную способность участка в настоящее время и на перспективу.

*Ключевые слова:* дноуглубительные работы, судоходная прорезь, порог шлюза, ожидание шлюзования, пропускная способность.

Единая глубоководная система (ЕГС) Европейской части России играет исключительно важную роль как в работе внутреннего водного транспорта, так и в транзитном международном судоходстве. Лимитирующим судоходство на р. Волга, как основного по длине элемента ЕГС, являются шлюзы №15-16 Нижегородского гидроузла и примыкающий к ним перекатный участок до Нижнего Новгорода. Проектная глубина на участке в настоящее время выдерживается не более 2-3 часов в сутки, что связано с многими факторами, в том числе с значительной посадкой уровня воды в нижнем бьефе (НБ) Нижегородской ГЭС из-за глубинной эрозии русла и произведенных на нем дноуглубительных работ. В результате за период эксплуатации НБ ГЭС обеспеченность проектного уровня, а с ним и глубины, существенно снизились, что периодически парализует транзитное движение большегрузных судов и составов, а также современных пассажирских теплоходов.

В последнее время в качестве варианта решения проблемы судоходства на участке рассматривается вопрос с пристройкой к существующему шлюзу № 15 Городецкого гидроузла дополнительной камеры 15А с проведением значительных дноуглубительных работ в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС. При этом отметку порога дополнительной камеры 15А планируется понизить на 4 м с существующей 64,0 мБС до 60,0 мБС, а отметку порога параллельной нитки шлюза №16 оставить прежней (64,0 мБС). Для

возможности прохождения связки шлюзов №15А-15 русло на участке нужно углубить, вынудив большой объем грунта, что вызовет дополнительную посадку уровней воды на порогах шлюзов №15А и 16.

Уровненный режим и, соответственно, судоходные условия в нижнем бьефе Нижегородского гидроузла подчиняются режиму сброса расходов воды через Нижегородскую ГЭС.

Углубленное исследование динамики связи «расход воды через ГЭС – уровень воды на гидропостах» является необходимым для обоснованного назначения положения кривой свободной поверхности воды (СПВ) на исследуемом участке при различных расходах воды через ГЭС. Для этой цели использован аппарат математической статистики. Была собрана и обработана статистика по среднесуточным расходам ГЭС и отметкам уровней воды в навигации 1998-2021 гг. на нижележащих гидропостах «Створ №7» (Городец), «Балахна», «Сормово». Статистические материалы по расходам и уровням воды обработаны на предмет нахождения эмпирической обеспеченности характеристик [1], которая должна быть высокой (для сверхмагистрали 95-99%).

По результатам расчетов построен график зависимости уровней воды на гидропостах от расходов ГЭС при 96% обеспеченности характеристик (рисунок 1), на основе которого возможно выполнение обоснования положения кривой СПВ при низких среднесуточных расходах воды через ГЭС в диапазоне 800-1200 м<sup>3</sup>/с.

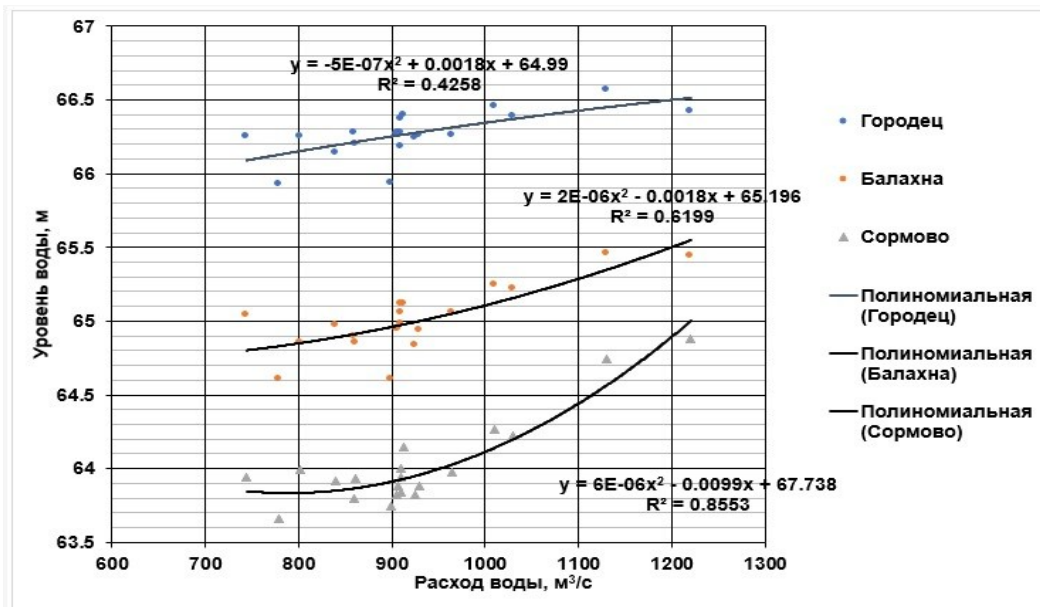


Рисунок 1 – Зависимость уровней воды на гидропостах от среднесуточных расходов ГЭС при 96%-ной обеспеченности характеристик за 1998-2021 гг.

В расчетах кривая СПВ построена при среднесуточном расходе воды 1100 м<sup>3</sup>/с, регламентированном Правилами использования водных ресурсов Горьковского водохранилища [2] и дополнительно при расходе 800 м<sup>3</sup>/с.

Отложенная от кривой СПВ принятая на ЕГС глубина 4 м определяет положение линии проектного дна и тот объем выемки грунта на участке с учетом технологических особенностей разработки прорезей, который необходим для ее достижения.

Варианты глубины разработки судоходных прорезей на участке приняты равными 4,0 м; 4,5 м; 5,0 м. В зависимости от проектных решений по назначению отметки порога дополнительной камеры №15А и продольному профилю дна прорезей глубина их разработки может быть увеличена.

Выполненные гидравлические расчеты посадки уровня воды на участке в разных вариантах организации дноуглубительных работ позволили обосновать достигаемые глубины на пороге шлюза с существующей отметкой 64,0 мБС, которые составляют 1,89-2,36 м при расходе ГЭС 1100м<sup>3</sup>/с, и проходную осадку судов в диапазоне 1,64-2,11 м с учетом запаса воды под днищем 25 см [3].

Для оценки последствий дноуглубительных работ на пропускную способность участка выполнен анализ судо(составо)потока в нижнем бьефе ГЭС и параметров работы шлюзов №15 и 16 на примере навигации 2021 г.

Анализ показал, что за навигацию через участок проследовало и прошлюзовалось более 5 тыс. судов (составов), из которых 18,5% имели простои в ожидании воды (волны попуска) со средним временем ожидания 23,4 ч; 4,44% ожидали шлюзования со средним временем 6,7 ч.

Для решения задачи обеспечения нормальных условий судоходства в перспективе нужно устранить потери провозной способности флота, связанные с этими технологическими простоями.

В новых условиях при строительстве дополнительной камеры 15А с пониженным порогом и дноуглублении участка для достижения гарантированной глубины 4 м затраты времени на ожидание воды исчезнут, но останутся затраты на ожидание шлюзования, которые нужно оценить с учетом различий в работе шлюзов: шлюз №16 остается в прежнем состоянии с отметкой порога 64,0 мБС и будет осуществлять пропуск судов преимущественно с небольшой осадкой, шлюз №15А с пониженным порогом способен пропускать суда (составы) с разной осадкой, но будет эксплуатироваться в связке как единое целое с существующим шлюзом №15 и увеличенными затратами времени на шлюзование.

Поэтому для укрупненной оценки влияния новой создаваемой шлюзованной системы и ее параметров на пропускную способность участка необходимо рассчитать технологические простои судов на ожидание шлюзования и в целом прохождение шлюзов как при современном объеме перевозок, так и прогнозируемом их росте в перспективе.

Основными факторами, определяющими длительность ожидания шлюзования являются интенсивность поступления судов (составов) на шлюзование  $\lambda$  (ед./сут.) (плотность судо(составо)потока), регулярность поступающего на шлюзование потока судов (составов) и его обслуживание, а также загрузка шлюзов, определяемая коэффициентом использования пропускной способности шлюзов  $\varphi$  (коэффициентом использования шлюзов по времени) [4, 5].

В дальнейших расчетах оценивается влияние факторов плотности судопотока  $\lambda$  и занятости шлюзов по времени  $\varphi$ , считая, что регулярность поступающего потока и его обслуживание учтены в статистических материалах времени ожидания шлюзования.

Произведена статистическая обработка материалов и выявлена зависимость времени ожидания от совокупного влияния обоих факторов в виде построенного уравнения регрессии и полученной корреляционно-регрессионной статистики.

Анализ результатов показывает, что теснота связи между исследуемыми факторами достаточно высокая и оценивается парными и множественными коэффициентами корреляции. При этом для оценки среднего времени ожидания шлюзования  $\bar{t}$  (y) от плотности судопотока  $\lambda(x_1)$  и использования шлюзов по времени  $\varphi(x_2)$  полученные значения коэффициентов корреляции можно считать высокими ( $k_{yx_1} = 0,769$ ,  $k_{yx_2} = 0,809$ ,  $R_{yx_1x_2} = 0,812$ ), а уравнение регрессии  $\bar{t} = f(\lambda, \varphi)$  адекватно описывающим связь факторов.

$$\bar{t} = -3,335 + 0,065\lambda + 27,93 \varphi$$

В новых условиях работы шлюзов №15А-15; №16 с целью устранения затрат флота на ожидание воды при прохождении судами шлюза №16 необходимо перенаправить суда с

большой осадкой от шлюза №16 на шлюзы №15А-15, т.е. перераспределить судопоток в системе.

Это приведет к изменению плотности судопотока  $\lambda$  через шлюзы и загрузки камер по времени  $\varphi$ .

Результаты расчетов показали, что с уменьшением глубин на пороге шлюза №16 большая часть судов (составов) будет проходить через шлюзы 15А-15 с большей плотностью судопотока  $\lambda$ . Однако в расчеты при определении загрузки камер по времени  $\varphi$  принята суммарная плотность судопотока через обе нитки шлюзов в связи с отсутствием необходимой детализации параметров в исходных статистических материалах.

В перспективе планируемая загрузка шлюзов №15А-15, 16 может значительно возрасти и достигать освоения объема прохождения грузов, кратно (до 10) превышающего существующий (по 2021 г. – 5,5 млн. т.) [6].

Поэтому нами полученные результаты корреляционно-регрессионного анализа в виде уравнения регрессии, связывающего время ожидания шлюзования с расчетными значениями плотности судопотока  $\lambda$  и коэффициента использования двух ниток шлюзов по времени  $\varphi$ , применены к перспективному периоду, в котором увеличенному объему грузов соответствует пропорциональное увеличение судо(составо)потока, а число шлюзований при расчете  $\varphi$  определяется из статистики числа шлюзований через шлюзы № 15,16 за 2020 и 2021 гг. интерполяцией на перспективный объем. Такой подход укрупненно оценивает полученные результаты и нуждается в уточнении для получения более устойчивых корреляционных связей при большем объеме исходного статистического материала, учете особенностей перераспределения судопотока между нитками шлюзов, структуры флота и других факторов, но в целом позволяет иметь картину по временным параметрам ожидания шлюзования судами с увеличением объема работы. Графическая интерпретация результатов расчетов представлена на рисунке 2.

Из полученных данных следует, что обе нитки с увеличением их загрузки при возросшем судопотоке  $\lambda$  и увеличении использования камер по времени  $\varphi$  исчерпают свои возможности примерно при 4-х кратном увеличении объема грузов по системе. При этом среднее время ожидания судами шлюзования возрастает быстрее, чем объем грузов по системе и при 3-х кратном увеличении объема становится сопоставимым по величине с средним временем ожидания воды в существующих условиях.

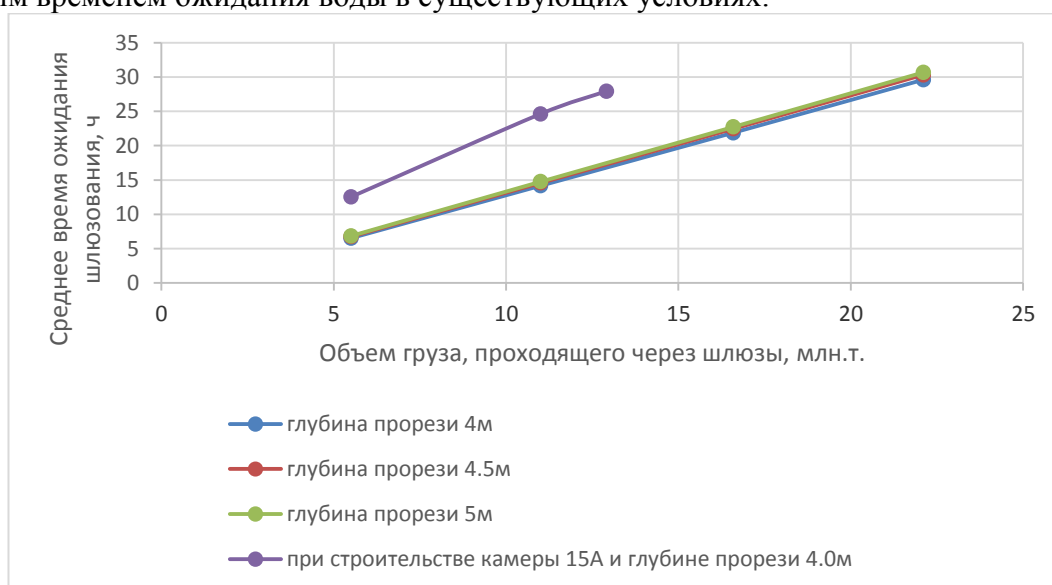


Рисунок 2 – Зависимость среднего времени ожидания шлюзования от объема груза, проходящего через шлюзы

На период строительства камеры шлюза 15А и функционирования одной нитки (шлюза №16) при сопоставимом объеме грузов по системе и, соответственно, плотности судопотока, резко возрастает загруженность камеры и ее использование по времени. Это ведет к росту времени ожидания шлюзования судами из группы ожидающих и снижению пропускной способности шлюзованной системы, а максимальный объем грузов через шлюз будет ограниченным почти в два раза по сравнению с двумя нитками (рис. 2). В этом случае по-прежнему появится ожидание судами (составами) волны попуска, время ожидания которой может превысить существующие величины из-за возрастания времени на ожидание шлюзования.

### **Выводы**

1. Строительство дополнительной камеры №15А с пониженным порогом увеличит пропускную способность существующих шлюзов №15,16 из-за устранения затрат флота на ожидание необходимых глубин на участке при прохождении волны попуска.

2. Период приемлемой эксплуатации модернизированной системы ограничен ростом грузопотока через нее, который по прогнозным оценкам может в разы превосходить существующий. При этом начнут возрастать затраты флота на ожидание шлюзования и по нашим ориентировочным расчетам при превышении грузопотока до 4-х раз ситуация повторит сегодняшнюю, но уже не за счет ожидания волны попуска, а за счет ожидания шлюзования. Поэтому в перспективе потребуется для повышения пропускной способности системы реконструировать шлюз №16 с принятием мер по понижению его порога.

Критическая ситуация с судоходством на участке может возникнуть при строительстве дополнительной камеры № 15А (продолжительностью несколько лет), когда из работы выпадет существующая нитка шлюза №15, весь поток пойдет через существующий шлюз №16 с прежней отметкой порога 64,0 мБС. При этом увеличатся затраты на ожидания шлюзования (даже при существующем судопотоке почти в два раза с расчетных средних значений 6,5 ч. до 12,5 ч.) и по-прежнему будут затраты на ожидания волны попуска для прохождения порога шлюза №16, возможно в размерах, превышающих существующие из-за увеличенного времени ожидания судами шлюзования и волны попуска. Решение отмеченного вопроса требует дальнейшего исследования.

### **Список литературы:**

1. СП 33-101.2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен постановлением Госстроя России №218 от 26.12.2003. – М., 2004. – 108 с.
2. Правила использования водных ресурсов Рыбинского и Горьковского водохранилища на р. Волга Текст / РВ-258-83: утв. м-вом мелиорации и водного хозяйства РСФСР 11.11.1983. – М.: м-во мелиорации и водного хозяйства РСФСР, 1983.
3. Приказ Министерства транспорта РФ от 3 марта 2014 г. №58 «Об утверждении Правил пропуска судов через шлюзы внутренних водных путей» (с изменениями и дополнениями).
4. Пьяных, С.М. Экономико-математические методы оптимального планирования работы речного транспорта: Учеб. для ин-тов водного транспорта / С.М. Пьяных. – М.: Транспорт, 1988. – 253 с.
5. Малышкин, А.Г. Организация и планирование работы речного флота: Учеб. для ВУЗов / А.Г. Малышкин. – М.: Транспорт, 1985. – 215 с.
6. Обоснование прироста грузопотоков и транспортных услуг, обусловленных эффективным использованием Единой глубоководной системы Европейской части России. Отчет по НИР (по заказу СК «Волжское пароходство») – ФГБОУ ВО ВГУВТ, 2021. Т1 – 115 с., Т2 – 120с.

# AN ENLARGED ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE CONSEQUENCES OF CAPITAL DREDGING AND THE CONSTRUCTION OF AN ADDITIONAL LOCK CHAMBER ON THE CAPACITY OF THE LOWER REACHES OF THE GORODETSKY HYDROELECTRIC COMPLEX

Alexander N. Sitnov, Nataliya V. Kochkurova

*Abstract.* The possible results of the influence of channel channeling and the construction of an additional lock chamber on the capacity of the lower reaches of the Gorodetsky hydroelectric complex are presented. The dependence of the level regime of the downstream on the water flow through the Nizhny Novgorod HPP is reflected, the dependence between them is established based on the processing of statistical materials. The depth of navigable slots has been assigned and the landing of water levels on the site, the depth and passage draft of vessels through the threshold of the limiting lock have been justified. The statistical dependence of the waiting time by the vessels of the sluice during the construction of an additional chamber with a lowered threshold and dredging of the site was established and the time spent on waiting for the sluice under existing conditions and with the growth of cargo volumes through the sluice system was determined. Conclusions are made on the assessment of the impact of operational conditions on the throughput of the site at the present time and in the future

*Keywords:* dredging, shipping slot, sluice threshold, sluice waiting, throughput.