

зовой подходной канал, возникает явление просадки судна. Изученность процесса просадки судна при выходе из камеры на сегодняшний момент достаточно мала, и, в основном, она базируется на расчетах необходимого запаса глубины на пороге шлюза.

Решением вопроса о необходимых запасах воды на пороге шлюза под днищем судна занимались С.С.Кирияков, В.В. Баланин, Д.А.Зернов и др. Так С.С. Кирияков предлагает зависимость для определения этого запаса в виде:

$$a = H_0 - T_c - \Delta T_c^{\max},$$

где:

H_0 – глубина невозмущенного потока в камере;

T_c – статическая осадка расчетного судна;

ΔT_c^{\max} – максимальная дополнительная просадка судна, для определения которой предложена аналитическая зависимость.

В.В. Баланин на основе многочисленных наблюдений, проведенных у нас в стране и за рубежом, глубину воды над порогом шлюза предлагает определять по зависимости, не учитывающей величину просадки судна как отдельной составляющей:

$$h_k = 1,3T_c,$$

где T_c – статическая осадка расчетного судна.

Согласно действующего СП 101.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87 Подпорные стенки, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения», безопасная глубина на пороге шлюза h должна подчиняться условию:

$$h_k \geq 1,3T_c,$$

где T_c – максимальная осадка шлюзующегося судна.

Таким образом, явление просадки судна при выходе из камеры судоходного шлюза на сегодняшний день, является полностью не изучено. Согласно действующим нормативам, безопасная глубина на пороге шлюза определяется на основе величины осадки судна с учетом коэффициента запаса глубины. Само явление просадки судна при выходе из камеры шлюза полностью не изучено. Изучение данного процесса позволит более точно судить о необходимых запасах глубины на пороге шлюза.

А.Н. Ситнов, А.А. Сазонов, И.В. Липатов, Ю.Е. Воронина, В.П. Куликов
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ УЛУЧШЕНИЯ СУДОХОДНОСТИ Р. ВОЛГА НА УЧАСТКЕ ГОРОДЕЦ – НИЖНИЙ НОВГОРОД

Единая глубоководная система (ЕГС) Европейской части России, важной составляющей которой является водный путь, образованный каскадом Волжских водохранилищ, представляет собой уникальный воднотранспортный комплекс и играет исключительно важную роль не только в работе водного транспорта страны, но в недалеком будущем и в транзитном международном судоходстве, в том числе и в функционировании МТК «Север – Юг».

Однако на этом пути имеется исключительный по важности лимитирующий участок – нижний бьеф Нижегородского гидроузла, на сегодняшний день практически разрывающий транзитное судоходство на Волге на две части – северную и южную с громадными потерями провозной способностью флота и значительными транспортными расходами судоходных компаний. Причина – отказ от первоначального варианта наполнения Чебоксарского водохранилища до проектной отметки 68,0 мБС, в результате чего подпор Чебоксарского водохранилища не достигает порогов городецких шлюзов, а его выклинивание происходит в районе г. Кстово. Следствием этого явилось то, что нижний бьеф Нижегородской ГЭС до г. Н. Новгорода сохранил речной режим стока, а уровни воды оказались подверженными влиянию почасовых суточных попусков Нижегородской ГЭС. Из рис. 1 следует, что кривая свободной поверхности воды при проектном уровне, создающим проектную глубину на участке 3,5 м, не достигается ни при среднесуточных расходах через ГЭС 1100 м³/с (установленных Правилами использования Рыбинского и Горьковского водохранилищ), ни, тем более, при провальных расходах (800 м³/с). Соответственно, фактическая глубина меньше проектной.

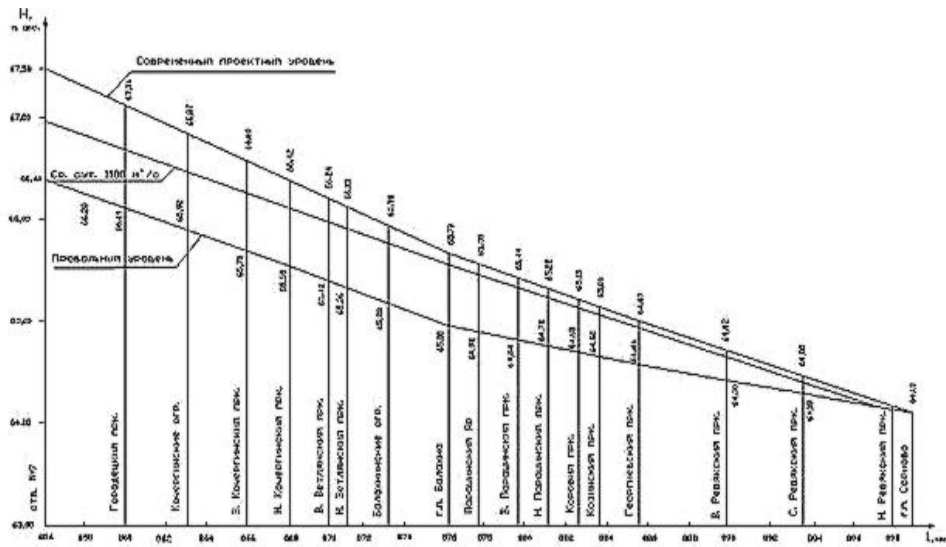


Рис. 1. Кривые свободной поверхности воды

Положение усугубилось глубинной эрозией русла в нижнем бьефе – за 59 лет работы Нижегородской ГЭС оно понизилось на 1,35 м у Городца и на 0,85 м у Балахны. Эрозия вызвала посадку уровней свободной поверхности воды. Так, на расстоянии до 6 км ниже ГЭС наиболее интенсивные посадки уровней в первые годы эксплуатации составляли 4–8 см/год, сейчас – около 1 см/год. Это привело к падению судоходных глубин как на порогах камер шлюзов, так и на нижележащих перекатах даже при проектном расходе воды 1100 м³/с. Расчеты показали, что глубины у Городца и Балахны составили 240 см, у Н. Новгорода – 320 см (рис. 2). Если в первые годы эксплуатации ГЭС проектная глубина 3,5 м при расходе 1100 м³/с выдерживалась на порогах шлюзов 18 ч/сут, в 1995 г. – лишь 2–3 ч, то сейчас не обеспечивается совсем (рис. 3). Для ее достижения необходимы увеличенные расходы воды. В результате возникают очень серьезные проблемы как с пассажирским флотом и с перспективами развития водного туризма, так и с грузовыми перевозками, когда современные крупнотоннажные суда должны преодолевать лимитирующий участок на волне попуска Нижегородской ГЭС, с паузой или существенным недогрузом.

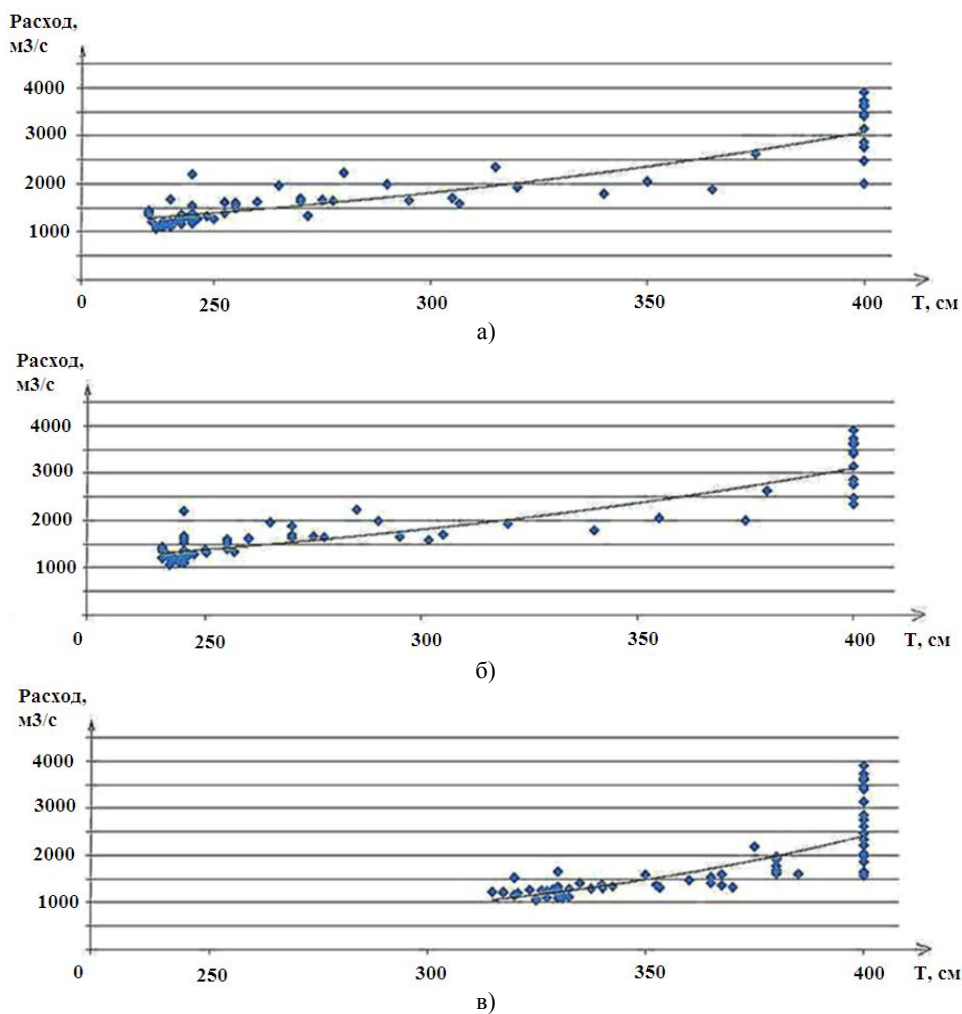


Рис. 2. Графики зависимости минимальных глубин судового хода от расходов воды, проходящих через Нижегородскую ГЭС: а) Городецкий шлюз – Городец (подходной канал); б) Городец – Балахна; в) Балахна – Нижний Новгород

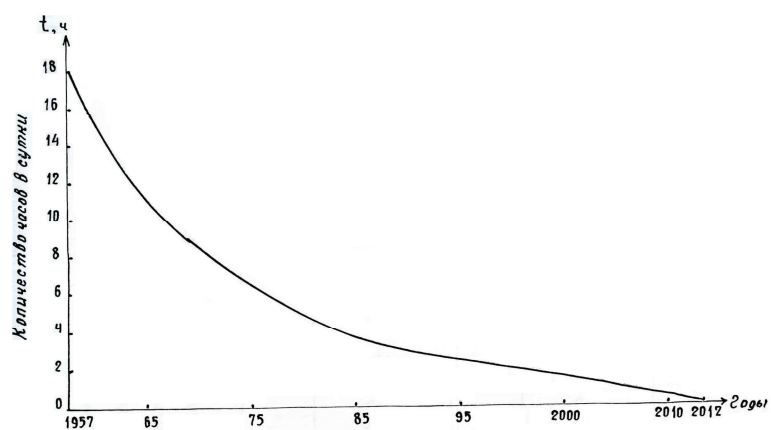


Рис. 3. Динамика обеспеченности проектной глубины 350 см на пороге шлюза при среднесуточном расходе $Q=1100 \text{ м}^3/\text{с}$

Положение свободной поверхности воды между Нижегородской и Чебоксарской ГЭС при отметке Чебоксарского водохранилища 63 мБС и глубины на порогах Городецких шлюзов показаны на рис. 4. Как видно, современная глубина на порогах составляет в зависимости от расходов воды через гидроузел 2,3–3,5 м, что совершенно недостаточно для судоходства. Поэтому с 1980-х годов начались поиски путей решения проблемы судоходства, один из которых состоял в повышении уровня воды Чебоксарского водохранилища до отметки 65 мБС. Этим одновременно обеспечивалось бы частичное повышение эффективности работы гидроагрегатов Чебоксарской ГЭС. Однако, как показали расчеты, подпор Чебоксарского водохранилища распространился бы несколько выше Нижнего Новгорода (рис. 4), но в целом проблему судоходства на лимитирующем участке не решает. Тогда начались интенсивные дноуглубительные работы на перекатах от Балахны до Нижнего Новгорода (рис. 5), что позволило достичь судоходной глубины на этом участке 3,5 м, но одновременно спровоцировало посадку уровней на вышележащем участке до Городца вследствие истощения гидравлически допустимой глубины.

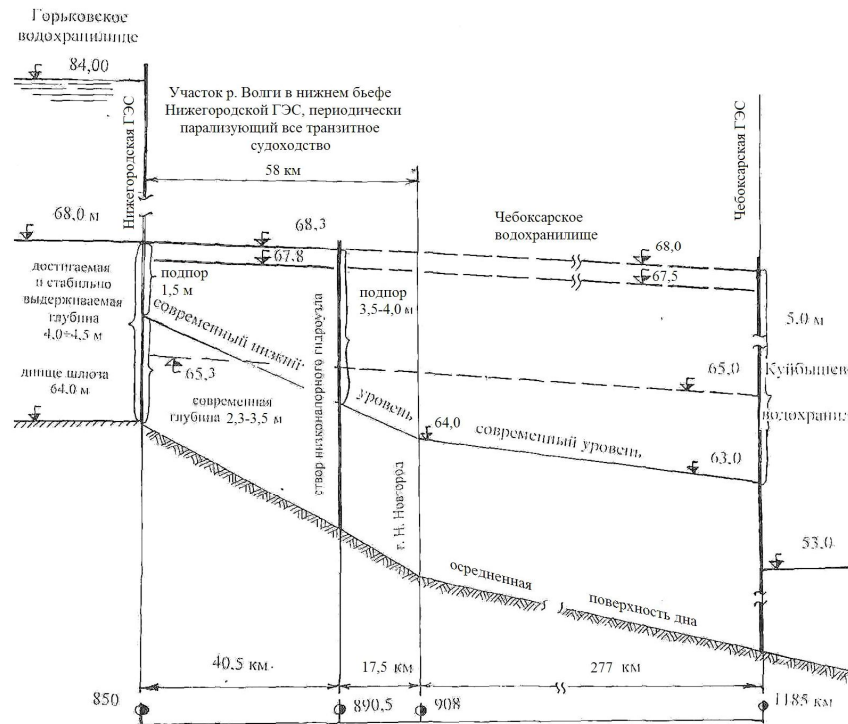


Рис. 4. Схема участка р. Волга от Нижегородской до Чебоксарской ГЭС

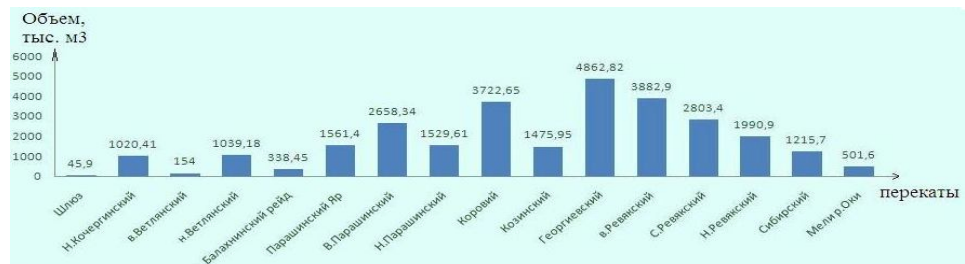


Рис. 5. Объемы дноуглубительных работ по перекатам на участке Городец – Нижний Новгород за последние 10 лет

Для исправления ситуации учеными и специалистами отраслевых организаций (ОАО «Гипроречтранс» и ВГАВТ (научный руководитель проф. Р.Д. Фролов)) были проработаны ряд вариантов инженерных решений, основными из которых явились следующие:

1. Строительство полузапруд с обоих берегов реки, создающих подпор на подходах к шлюзам и подъем уровня воды на порогах (1988–1994 гг.). Один из наиболее удачных вариантов расстановки и конфигурации системы полузапруд представлен на рис. 6. В результате экспериментальных исследований было установлено, что при этом варианте подъем уровня на порогах городецких шлюзов не превысит 10–15 см. Однако по результатам математического моделирования русловых процессов, выполненного Гипроречтрансом, пришли к выводу, что в последующие навигации при возросших от сжатия русла скоростях течения произойдет глубинная эрозия, которая сведет на нет положительный эффект действия полузапруд.

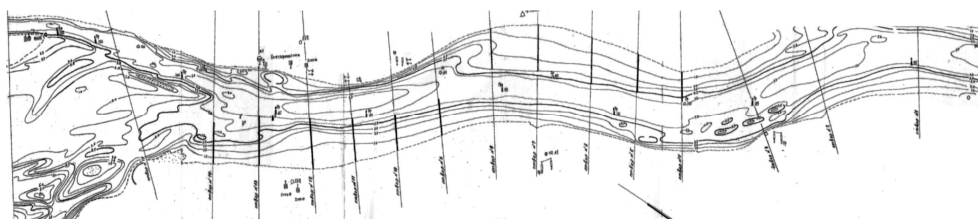


Рис. 6. Вариант увеличения судоходной глубины путем строительства полузапруд

2. Строительство третьей нитки шлюза с пониженной отметкой порога. Этот вариант, как наиболее очевидный для решения проблемы прохождения судами шлюза, был предложен в начале 1980-х гг. Но несмотря на то, что после проработки он был отвергнут в 1990-х гг., в последние годы отдельными учеными предпринята попытка его реанимировать. Одно из компоновочных решений строительства третьей нитки шлюза показано на рис. 7. По расчетам, выполненным ОАО «Гипроречтранс», порог нового шлюза по сравнению с отметкой порогов существующих шлюзов (64 мБС) для прохождения современных крупнотоннажных судов должен быть заглублен минимум на 2 метра, а соответственно должны быть заглублены и подходы к шлюзу. В условиях уже достигнутого превышения гидравлически допустимой глубины это приведет к посадке уровня воды на близкую величину на всем нижележащем участке и не решит проблему лимитирующего участка. Вместе с тем, серьезно уменьшатся глубины на подходах и порогах существующих шлюзов, что, по сути, выведет их из транспортного процесса. В дополнение к трудностям организации движения флота на подходах к шлюзам при строительстве новой нитки, несомненно, произойдет активизация русловых переформирований и перестройка русла, негативную динамику которых на современном этапе точно прогнозировать невозможно.

3. Строительство полушлюза в подходном канале. Предполагалось (ОАО «Гипроречтранс», 1990 г.) создание в подходном канале дополнительной ступени с пониженной отметкой порога. Этот вариант также требовал дополнительного углубления подходного канала с негативными последствиями, аналогичными как при строительстве третьей нитки шлюза. Кроме этого, не выдерживались габариты на подходах к шлюзу, а приемлемых предложений по компоновочным решениям не нашли.

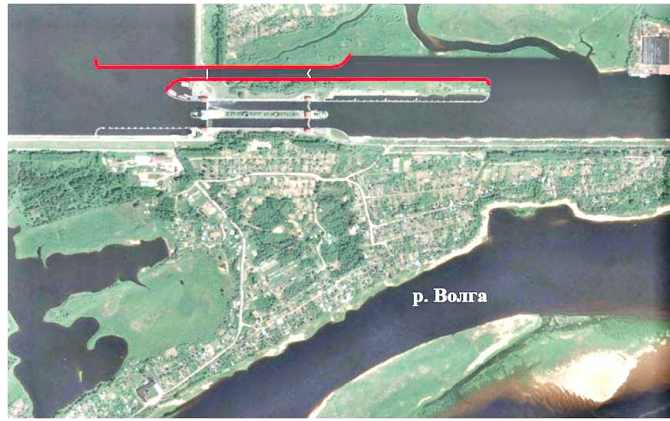


Рис. 7. Схема расположения третьей нитки Городецкого шлюза

4. Оптимизация режимов попусков воды через Нижегородский гидроузел. Созданный на Волге каскад водохранилищ оптимизирует речной сток и регламентируется действующими Правилами использования водных ресурсов водохранилищ, разработанными в 1980-х годах и в значительной степени устаревшими. Волжская академия (1995–2005 гг.) выполнила целый ряд масштабных исследований по оптимизации регулирования стока Рыбинского и Горьковского водохранилищ, работа которых взаимосвязана. Было найдено и обосновано решение по повышению эффективности регулирования стока этих водохранилищ, которое позволяет увеличить среднесуточный расход воды через створ Нижегородской ГЭС с $1100 \text{ м}^3/\text{с}$ до $1300 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 8), что дает возможность увеличить время пропуска крупнотоннажных судов до 4–5 ч в сутки. Данное обоснование прошло обсуждение на научно-техническом совете Министерства природных ресурсов, в научно-исследовательском институте «Гидропроект». Однако, несмотря на положительное заключение, в силу ряда обстоятельств и консервативности оно не реализовано.

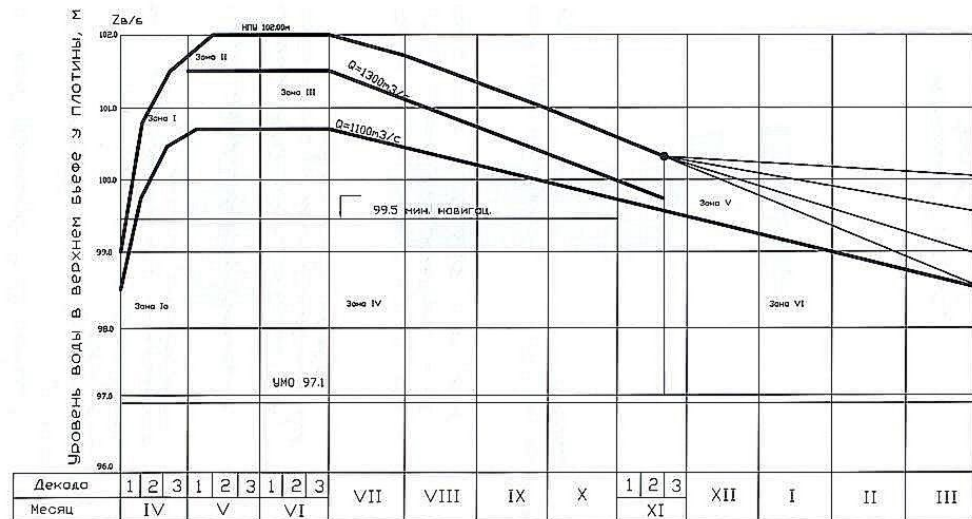


Рис. 8. Диспетчерский график режима работы Рыбинского водохранилища

Анализ предложенных решений показывает или нецелесообразность их реализации или временный характер улучшения условий судоходства. Кардинально пробле-

му судоходства они не решают, что не дает возможности создать на рассматриваемом участке и порогах шлюза транзитную глубину 4 м.

Эту проблему возможно решить двумя путями:

1. Наполнение Чебоксарского водохранилища до отметки НПУ 68 мБС. (см. рис. 4). При этой отметке на порогах Городецких шлюзов выдерживается средняя глубина 4,3 м. Однако Правилами использования водных ресурсов Чебоксарского водохранилища предусмотрено создание регулирующей емкости водохранилища 5,4 км³ и возможность его сработки в межень до отметки УНС 67,5 мБС. В этом случае глубины на порогах Городецких шлюзов будут составлять только 3,8 м, что ограничит движение крупнотоннажных судов на участке. Кроме того, по данным ФБУ «Администрация Волжского бассейна ВВП» могут возникать ограничения по надводному габариту при прохождении под Чебоксарским мостом в верхней голове шлюза и Окским мостом в Нижнем Новгороде. Отмеченные обстоятельства не позволяют считать этот путь оптимальным.

2. Строительство низконапорного транспортного гидроузла в районе п. Большое Козино на 890,5 км судового хода при НПУ Чебоксарского водохранилища 63 мБС (рис. 9). Выбор створа гидроузла определен условиями судоходства, устойчивостью русла и динамикой изменений объемов дноуглубления по длине участка. Анализ выполненных дноуглубительных работ показал значительный рост объемов выемки грунта на перекатах от расположенных ниже Нижегородской ГЭС к Георгиевскому, после которого наблюдается их спад (см. рис. 5). На самом Георгиевском перекате объем работ за последние 10 лет достиг максимальных значений по сравнению со всеми остальными перекатами участка. Во избежание затопления значительных территорий, створ гидроузла необходимо назначать выше г. Н.Новгорода (Сормовского водозабора) и места впадения р.Ока в р.Волга. Проведенная оценка динамики изменения судоходного состояния участка Волги и степени деформируемости русла подтверждает обоснованность выбора створа гидроузла.

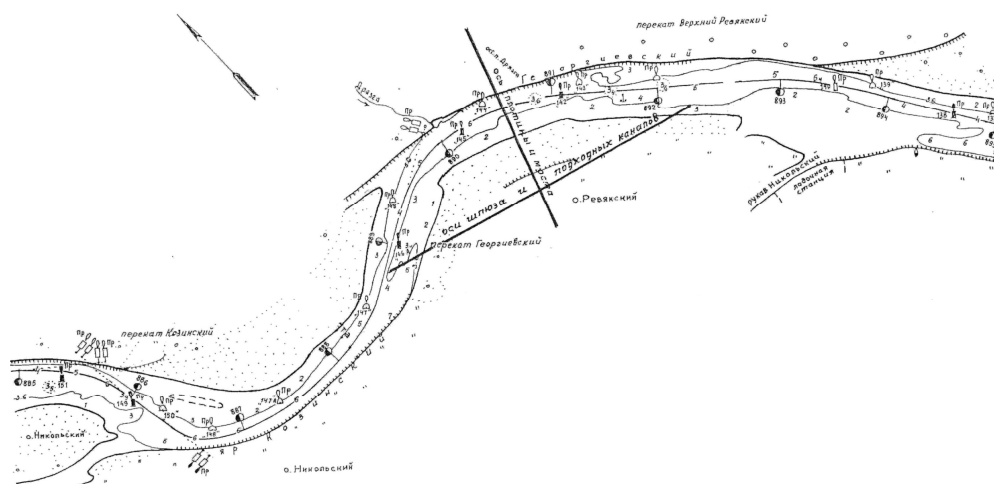


Рис. 9. Месторасположение створа гидроузла – Б. Козино

Необходимо отметить, что низконапорный гидроузел предполагается совместить с автодорожным мостовым переходом, что позволит обеспечить вывод с улично-дорожной сети Нижнего Новгорода транзитных автомобильных потоков и решить не только водно-транспортную проблему, но и автомобильную и связанную с ней экологическую от уменьшения загрязнения окружающей среды. При этом следует предусмотреть различные варианты технических решений компоновки низконапорного

гидроузла с предпочтением реализации вариантов, позволяющих обеспечить поддержание подпора в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС только в меженный период и с оставлением реки в остальной период года в естественном состоянии.

С учетом изложенного считаем строительство низконапорного гидроузла лучшим решением проблемы судоходства на участке Городец – Нижний Новгород.