

С. М. Гаврилюк (ФГНУ «РосНИИПМ»)

В. Л. Бондаренко, А. В. Кувалкин (ФГОУ ВПО «НГМА»)

ВЛИЯНИЕ ТЕНДЕНЦИИ ПОСАДКИ РУСЛА НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ БЕРЕГОВЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НАХОДЯЩИХСЯ В ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье приведены данные о влиянии тенденции посадки русла на функциональную надежность работы береговых водозаборных сооружений находящихся в длительной эксплуатации. Разработан один из вариантов решения повышения функциональной надежности береговых водозаборных сооружений.

Ключевые слова: водозабор, функциональная надежность, посадка русла, инженерные мероприятия, регулирующее сооружение.

S. M. Gavriluk

V. L. Bondarenko, A. V. Kuvalkin

INFLUENCE OF TENDENCY OF CHANNEL LANDING ON WORK RELIABILITY FOR COASTAL WATER INTAKING CONSTRUCTIONS BEING IN LONG OPERATION

Data about influence of trend recession of level on functional reliability of riverside water intakes, which existing in continuous exploitation represented in the article. One of alternative versions of solution for increasing of functional reliability of riverside water intakes was developed.

Keywords: water intake, functional reliability, recession of level, engineering measures, regulation structure.

В последние годы все чаще приходится решать задачи по повышению надежности работы водозаборов при снижении уровня воды в источнике, вызванном углублением его русла в связи с добычей песчано-гравийных строительных материалов. Выемка грунта из русел рек (например, Оки, Оби, Томи и др.) для строительных целей достигает иногда таких размеров, что уровень воды снижается на 2 м и более. Характерными в этом отношении можно считать водозаборы на Томи и Оби. На Томи у Томска снижение уровней с пятидесятых годов превысило 2 м. Русло реки на одном из водозаборов из Оби для Новосибирска врезается до коренных пород, скорость руслового потока во время ледостава 0,9-1 м/с. Снижение горизонта низких вод (ГНВ) ниже расчетного, как по-

казали наблюдения, является следствием размыва русла реки в нижнем бьефе ГЭС и отбора большого количества грунта без учета условий работы водозабора. С 1960 по 1975 гг. отбор грунта из русла Оби для строительных целей составил около 20 млн м³, в результате чего на участке расположения водозабора ГНВ при шугоходе через 18 лет (1957-1975 гг.) оказался ниже проектного на 0,7 м. Этому способствовала также барьерная роль плотины ГЭС, уменьшившей поступление наносов в нижний бьеф: до строительства ГЭС твердый сток у Новосибирска составлял 6,5 млн м³/год, а к 1975 г. снизился до 4,5 млн м³/год. За последние 15-20 лет более чем на метр понизились уровни на Дону в нижнем бьефе Кочетовского гидроузла, на Волге ниже Волгоградской ГЭС. Аналогичные причины снижения ГНВ отмечаются и для рек Белая и Уфа в Республике Башкортостан, реки Урал в районе городов Орск, Оренбург и др. [3].

С 1980 года официально прекращены землечерпательные работы на Лене от Осетрова до Киренска, где уровень воды понизился почти на 2 метра. В настоящее время составляется проект шлюзования этого участка. В Омске, Павлодаре, Новосибирске, Осетрове вследствие посадок уровней глубины у причальных стенок настолько снизились, что в мало-водные годы к ним не может подойти для разгрузки ни одно крупное судно, а увеличение глубины путем дальнейшего землечерпания уже невозможно из-за дальнейшего обрушения стенок.

На слипы многих судоремонтных заводов стал невозможен подъем крупных судов, затруднено судоходство в подходных каналах нижних бьефов гидроузлов, осушаются водозаборы, резко увеличился размыв дюкеров трубопроводов.

Причины посадок уровней могут быть разные: транзитное землечерпание; добыча минеральных стройматериалов; осветление воды в нижних бьефах водохранилищ и т.д. Однако в любом случае разработка проектов мероприятий, компенсирующих посадку, требует надежной методики уче-

та и анализа хронологического графика этого явления. Между тем, современные методы учета посадок, основанные на обработке многолетних кривых расходов или построение кривых обеспеченности среднесуточных уровней воды, далеко не всегда дают надежные результаты.

Анализ учета посадок уровней на примере р. Белой у г. Уфы, основанный на использовании ежегодных значений меженных горизонтов воды, приведенных к фиксированному расходу с использованием условной или стандартной кривой расходов свидетельствует, что с 1961 по 1968 гг. общее понижение достигло почти 80 см, т.е. средняя интенсивность была около 10 см в год (рисунок 1). С 1969 по 1983 гг. общее понижение составило 76 см за 14 лет, т.е. интенсивность существенно уменьшилась до 5 см в год, почти вдвое. И с 1984 по 1995 гг. характеризуется уменьшением интенсивности посадок уровней и общее понижение составило 24 см за 11 лет, т.е. интенсивность в среднем составляет около 2 см. К тому же снижение уровней у г. Уфы естественно привело к уменьшению уклона р. Белой ниже г. Уфы, соответственно на этом участке реки уменьшились скорости течения в меженный период. Уменьшение скоростей в меженный период не может не отразиться на санитарном состоянии реки.

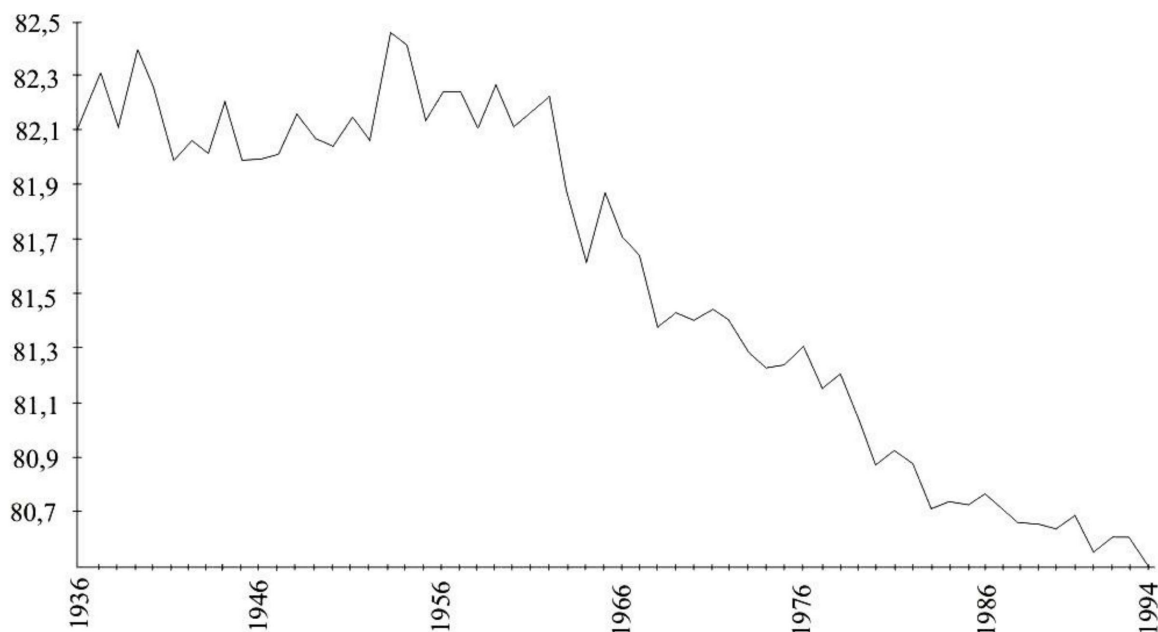


Рисунок 1 – Хронологический график хода уровней, приведенных к условному расходу $360 \text{ м}^3/\text{с}$, по р. Белой у г. Уфы

У города Бирска с 1963 по 1985 гг. с общим понижением 39 см за 22 года, около 2 см в год (рисунок 2). В дальнейшем наступает уменьшение интенсивности посадок уровней.

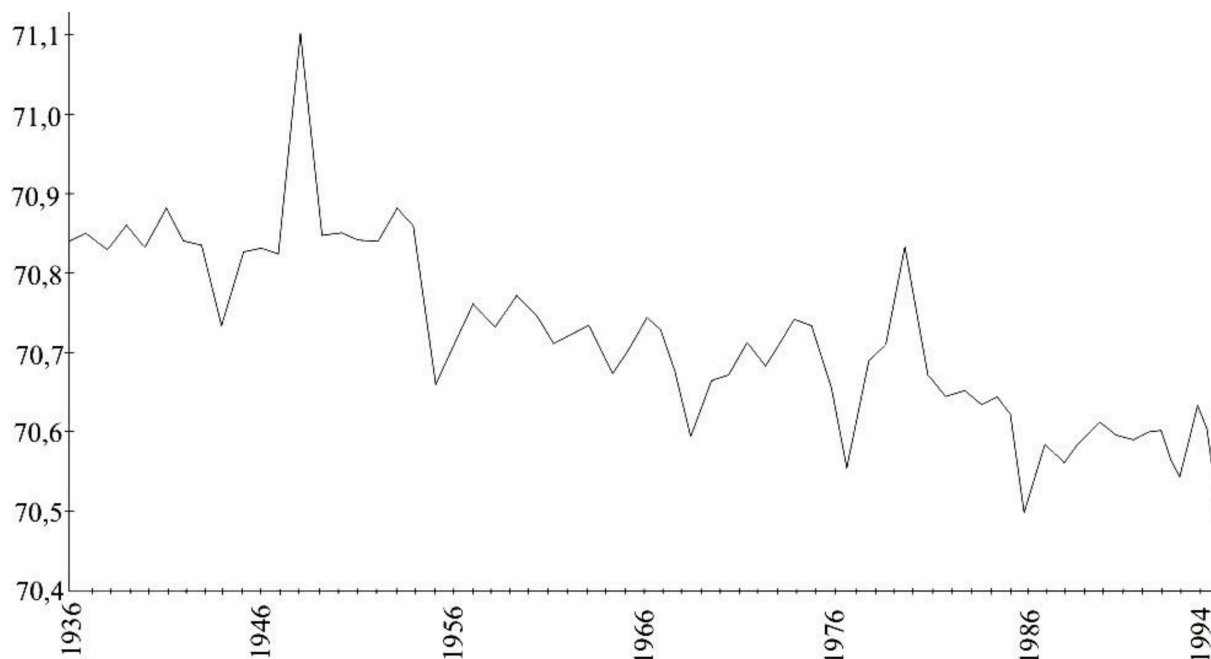


Рисунок 2 – Хронологический график хода уровней, приведенных к условному расходу 400 м³/с, по р. Белой у г. Бирска

Основными причинами снижения уровней являются: транзитное землечерпание; дноуглубительные работы; добыча песчано-гравийной смеси; местные размывы при строительстве мостов и т.д. В результате основные водозаборы на р. Белой не могут работать в полную мощность.

В 2003, 2006, 2007 годах на ситуации резко сказалось циклически повторяющееся маловодье и, хотя это явление изучено недостаточно, имеющиеся материалы многолетних наблюдений позволяют говорить о необходимости принятия радикальных мер. Так, в конце ноября начале декабря 2003 года водозаборные сооружения ТЭЦ 2, УНПЗ, НУНПЗ и ряда других собственников оказались в критической ситуации, что могло привести к прекращению водоснабжения крупных предприятий нефтехимического комплекса и предприятий жизнеобеспечения (ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, Кумертауская ТЭЦ). В 2003 году помогли регулирующие возможности Павловского и

Нугушского водохранилищ. Ситуация повторилась и в 2006-2007 годах, решением Республиканской межведомственной комиссии по вредному воздействию вод были увеличены попуски воды в нижний бьеф из Павловского водохранилища.

В современных условиях антропогенного снижения водности и расчетных уровней для обеспечения работы действующих водозаборов, их укрупнением (увеличением мощности), возрастают требования к надежности (бесперебойности) их работы, ибо многократно увеличивается возможный материальный ущерб при аварийных ситуациях, а это требует в свою очередь более глубокого изучения гидрологических и иных условий забора воды, усовершенствования конструкций и технологии водозаборов [4].

Следовательно, при повышении функциональной надежности водозаборов на зарегулированных участках рек надо учитывать возможную посадку уровней воды не только за счет изменения руслового режима и размыва русла, но и за счет возможных русловых переформирований.

Необходимое решение проблемы обеспечения функциональной надежности береговых водозаборных сооружений в современных условиях должно осуществляться на основе системного подхода, под которым понимается взаимосвязанное рассмотрение работы водозаборов, водохозяйственных и гидрологических процессов, протекающих на водосборной территории бассейна, их совместное исследование и моделирование, как элементов единого водохозяйственного комплекса речного бассейна [4].

Береговой бесплотинный тип водозаборных сооружений широко используется в системах водоснабжения промышленных предприятий и городов. Недостаточная функциональная надежность работы береговых бесплотинных водозаборных сооружений в современных условиях их эксплуатации определяется сезонными естественными колебаниями уровней воды в водотоке (реке), и устойчивой тенденцией ежегодного снижения

уровней воды в створах водоотбора, за счет понижения отметок дна русла естественного водотока, занесением входных оголовков водоприемников влекомыми наносами, за счет естественных руслоформирующих процессов, за счет хозяйственной деятельности, проводимой на водосборной территории, происходит уменьшение, относительно расчетного, отбираемого расхода воды, за счет снижения напора воды на входном оголовке всасывающего отделения берегового колодца, что не позволяет производить отбор воды в соответствии с необходимыми расчетными расходами.

В соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» береговые водозаборные сооружения должны обеспечивать бесперебойный отбор расчетного расхода воды [2].

Надежность бесперебойной подачи воды должна быть обеспечена при самых неблагоприятных, возможных при выбранной обеспеченности, сочетаниях гидрологических, гидравлических, технологических, шуголедовых и других условий. Водозаборные сооружения должны обеспечивать забор из водоисточника потребного расхода воды и подачу ее потребителю; защищать систему водоснабжения от попадания в нее сора, наносов, льда и т.д.

Практика эксплуатации береговых водозаборных сооружений ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» в среднем течении р. Белой (Башкортостан) последние 15-20 лет показала, что при пониженных горизонтах воды в р. Белой у водозабора (ниже отметки 137,5 м абс) в меженный период появляются явления кавитации на насосных агрегатах, что снижает производительность последних и выхода из строя рабочих колес насосов (рисунки 3-5).

Вопросу переформирования русел при водозаборе большое внимание уделялось в работах Е. А. Замарина, М. М. Гришина, И. И. Леви, С. Т. Алтунина, И. В. Егизарова, Г. И. Шамова, В. А. Шаумяна, Д. Я. Солова, М. С. Вызго, А. Н. Гостунского и др.

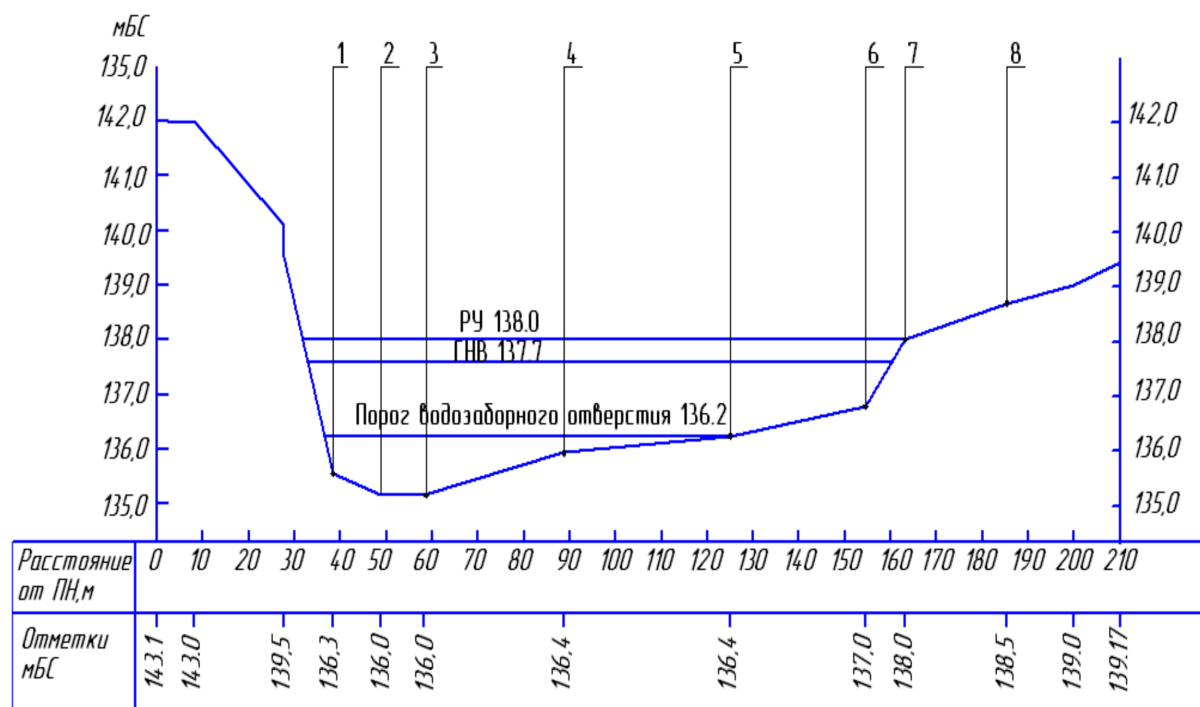


Рисунок 3 – Профиль гидроствора р. Белой, водозабор «Салаватнефтеоргсинтез» НС-1

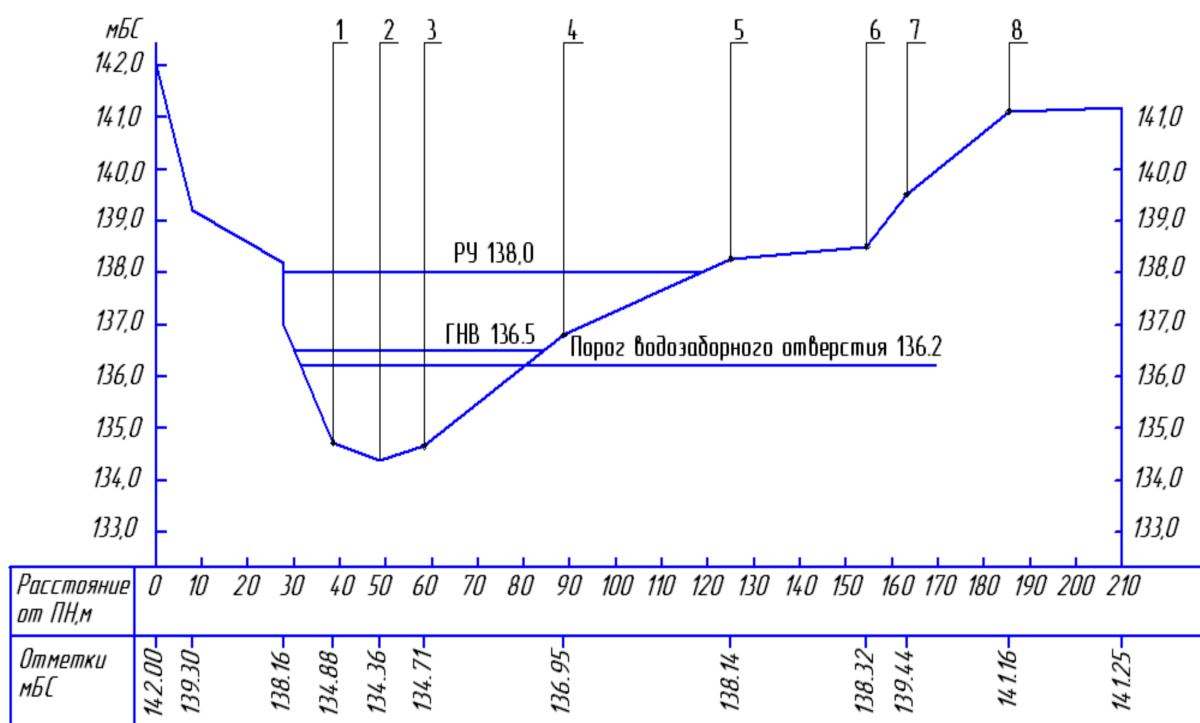


Рисунок 4 – Профиль гидроствора р. Белой, водозабор «Салаватнефтеоргсинтез» НС-2

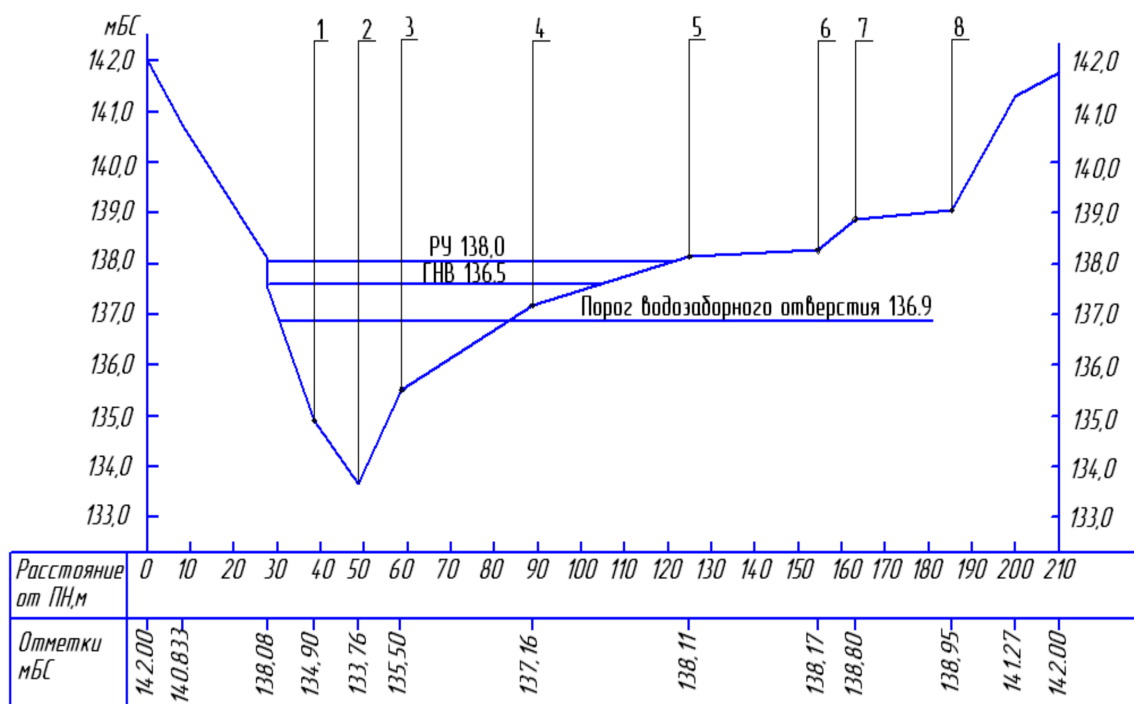


Рисунок 5 – Профиль гидроствора р. Белой, водозабор «Салаватнефтеоргсинтез» НС-3

Русловой участок водозабора может быть создан системой продольных дамб и поперечных шпор и их сочетанием. Практикой регулирующих мероприятий принято считать, что на участке регулируемого русла необходимо сохранять основные черты устойчивого естественного русла, поэтому возводимыми в реке сооружениями следует только содействовать благоприятным условиям его формирования.

Однако в большинстве случаев при обеспечении надежности работы береговых водозаборных сооружений задача регулирования еще больше усложняется, и приходится нарушать естественные условия реки. Появляется необходимость принудительного сосредоточения речного потока в одном русле для повышения его транспортирующей способности.

Для решения проблемы обеспечения функциональной надежности работы береговых водозаборных сооружений ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» были проведены гидравлические лабораторные исследования на пространственной физической модели для компоновки регулирующих инженерных сооружений в целях обеспечения функциональной надежности водозаборов.

Гидравлические исследования модели участка реки в районе расположения береговых водозаборных сооружений позволили сформировать компоновочную схему, целью которой является регулирование гидравлической структуры потока на участке размещения НС ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» для обеспечения: 1) расчетного уровня ГНВ; 2) незаиляемости русла в местах расположения водозаборов; 3) беспрепятственного прохождения на участке льда и наносов в периоды половодного стока.

При проведении инженерных регулировочных мероприятий приходится решать вопросы, связанные с определением рационального расположения отдельных сооружений на участке реки и в высотном направлении, сочетая их компоновку с естественными условиями. Необходимо также учитывать совместное действие дамб и шпор, отыскивать оптимальные углы наклона сооружений к направлению течения, так как от этого зависит глубина местного размыва у основания дамб и шпор, а следовательно, и их устойчивость. В зависимости от наличия качественных материалов назначается конструкция сооружения, от которой в прямой зависимости находятся способы уменьшения глубин размыва, его устойчивость и методы эксплуатации.

В целом, задача заключается в отыскании таких форм и компоновки сооружений, при которых осуществляемое мероприятие было бы целесообразным в технико-экономическом отношении. Такая задача и привела к проработке нескольких вариантных решений.

В состав сооружений для обеспечения надежной работы водозаборов на р. Белой входят: правобережная оградительная дамба длиной 936 м, шириной по верху 5,0 м и средней высотой 2,0 м; струенаправляющие шпоры на правом берегу р. Белой длиной от 12 до 60 м, в количестве 5 штук; водоподпорное сооружение шандорного типа, расположенное в 50 метрах ниже водозаборного сооружения НС-3 (рисунок 6).

В целом, все гидротехнические сооружения, входящие в данный комплекс, дополняют друг друга и в соответствии со СНиП 2.06.01-86

приложения № 2 таблицы I отнесены к IV классу капитальности.

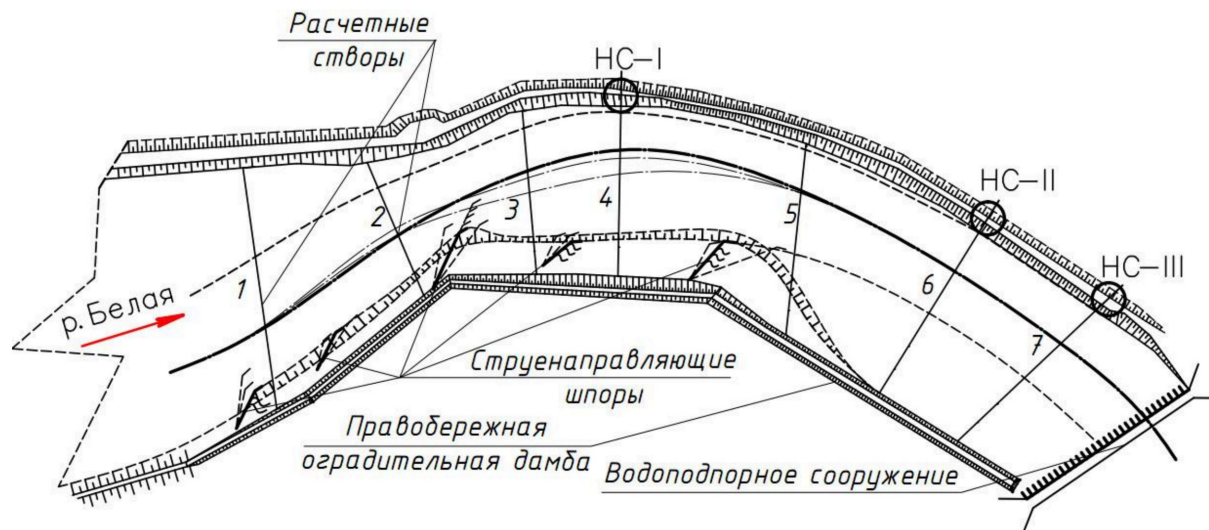


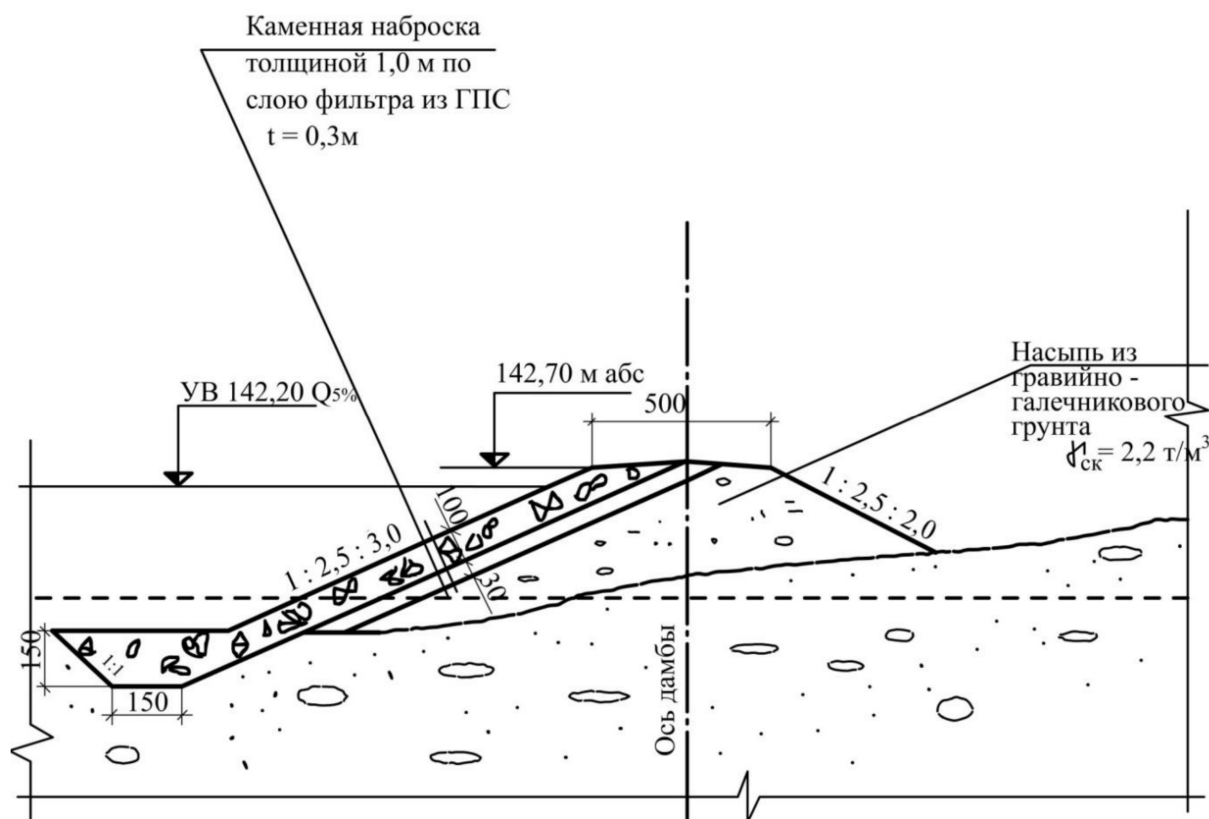
Рисунок 6 – Компоновочная схема инженерных регулирующих сооружений

В результате анализа возможных способов применения и конструкций инженерных сооружений на водных объектах, а также целевых исследований на физической модели сформирован комплекс сооружений на участке расположения водозаборов ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» (рисунок 6): правобережная оградительная дамба, струенаправляющие шпоры различной длины и сквозности, подпорное сооружение шандорного типа, каждое из которых несет определенное функциональное назначение и дополняет другие.

Комплекс устройств обеспечивает надежность работы береговых водозаборных сооружений, где правобережная оградительная дамба предотвращает выход водотока из естественно-сформированного русла и обеспечивает его устойчивость, а также не позволяет потоку воды обойти водоподпорное сооружение. Водоподпорное сооружение обеспечивает стабилизацию необходимого уровня на участке размещения береговых водозаборных сооружений и не допускает снижения горизонта воды ниже расчетного. Струенаправляющие шпоры смещают динамическую ось потока к левому берегу, тем самым увеличивая транспортирующую способность потока, путем циркуляции и увеличения скоростей водотока возле берего-

вых водозаборных сооружений и образуют закрепление правого берега путем занесения струенаправляющих шпор наносами и формированием линии берега. Количество струенаправляющих шпор, их длина и сквозность зависит от криволинейности русла и обуславливается формированием достаточной гидравлической структуры потока в створах размещения береговых водозаборных сооружений.

Оградительная дамба выполнена из гравийно-песчаной смеси средней высотой 2,0-2,5 м, длиной 936,0 м, заложение откосов: верхового – 2,5-3,0, низового – 2,0-2,5. Отметка гребня дамбы – 142,7 м абс. Ширина дамбы по верху – 5,0 м. Материал насыпи – гравийно-песчаный грунт $\gamma = 2,2 \text{ т/м}^3$, объем насыпи составляет 18000 м^3 . Со стороны реки дамба закреплена камнем $D_{\text{ср}} = 0,35 \text{ м}$, толщиной 1,0 м; по слою обратного фильтра из гравийно-песчаной смеси $d_{\text{ср}} = 3\text{-}5 \text{ мм}$, толщиной 0,3 м. Объем камня составляет 8500 м^3 , ГПС – 2100 м^3 . Конструкция правобережной оградительной дамбы приведена на рисунке 7.



**Рисунок 7 – Конструкция оградительной дамбы
(сечение оградительной дамбы, М 1:200)**

Шпоры представляют собой сквозную конструкцию, состоящей из трех рядов свай С-6-30, С-8-30 и С-12-30, забитых в грунт до отметки верха равного 138,5 м абс. Длина шпор колеблется от 12,0 до 42,0 м. Оголовки свай сверху накрываются ж/б плитой 6,0 × 1,5 и толщиной 0,18 м (рисунок 8).

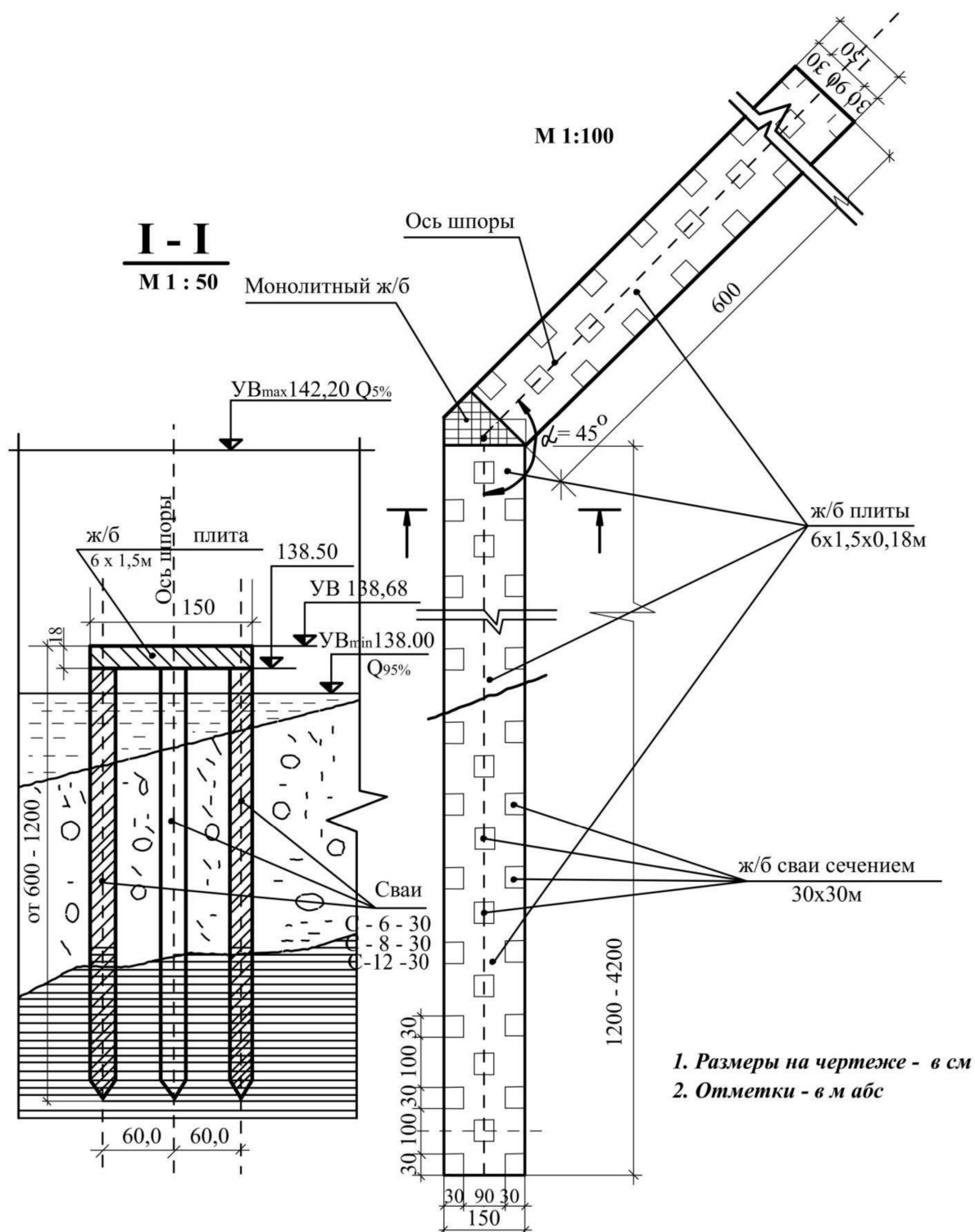


Рисунок 8 – Струенаправляющая шпора

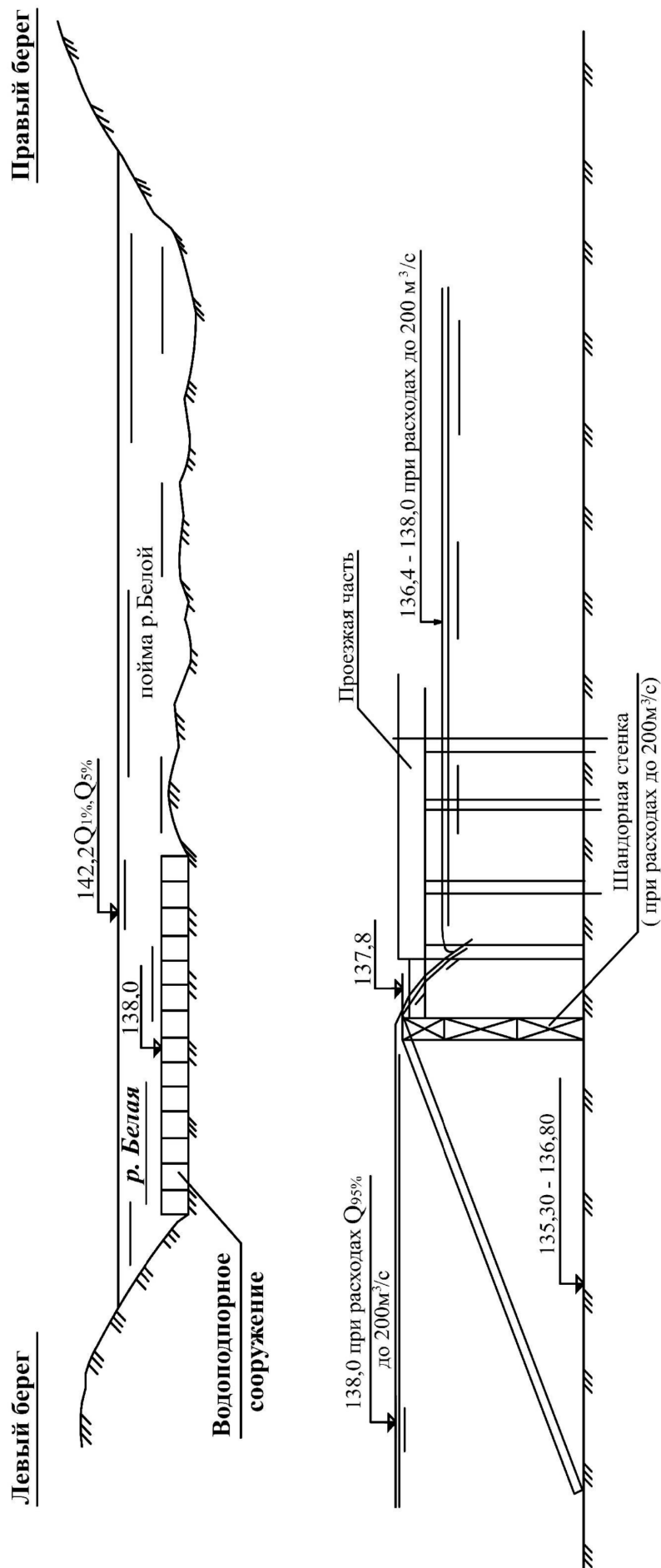
Соединение ж/б плиты с оголовками свай осуществляется при помощи сварки закладных частей плиты и арматуры свай. Сваи забиты в шахматном порядке через 1,0 м. Общее количество свай составляет 414 шт., ж/б плит – 26 шт.

Водоподпорное сооружение работает кратковременно, и маневрирование секциями шандоров осуществляется с целью поддержания минимально допустимого горизонта у водозаборов (не ниже 138,0 м абс), то в основном эксплуатация его заключается в правильном (безаварийном) маневрировании шандорного загораждения в различные времена года.

Количество секций шандорного загораждения, устанавливаемого в межпролетные строения, каждый год зависят от водности года (рисунок 9).

Параметры инженерных сооружений для регулирования уровня ГНВ в реке рассчитывались на минимальный расход 95 % вероятности превышения в створе расположения водозаборов, согласно современному ВХБ бассейна р. Белой – 35,6 м³/с, при котором обеспечиваются расчетные уровни воды для надежной работы водозаборов (138,0 м абс), а также гарантийный суммарный водоотбор предприятия – 3,5 м³/с из живого тока реки. Исследование гидравлических процессов на участке в период половодья проводилось при расчетном руслоформирующем, обеспеченность 75 %, расходе $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{с}$, и максимальном, обеспеченностью 1 %, расходе 1700 м³/с, согласно расчетному ВХБ с учетом правил работы Нугушского и Юмагузинского водохранилищ.

Результаты проведения инженерных мероприятий свидетельствуют о полной целесообразности повышения надежности работы береговых водозаборных сооружений ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», если учесть, что другие конструктивные решения, требующие ежегодных ремонтов и полного восстановления через три-пять лет, экономически нерентабельны, мало устойчивы при воздействии на них потока и обременительны в эксплуатационном отношении.



Примечание: При расходах выше $200 \text{ м}^3/\text{с}$ водоподпорное сооружение работает в затопленном положении.

Рисунок 9 – Схема работы водоподпорного сооружения

Выводы.

1 Инженерные мероприятия позволили обеспечить надежную работу береговых водозаборных сооружений путем регулирования русловых процессов, предотвращения отложений наносов, шуги, льда.

2 Результаты исследований по разработке инженерных мероприятий для обеспечения функциональной надежности работы береговых водозаборных сооружений внедрены в проект по реконструкции береговых водозаборных сооружений НС-1, НС-2, НС-3 системы водоснабжения ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» на р. Белой Республики Башкортостан.

Список использованных источников

1 Артамонов, К. Ф. Регулировочные сооружения при водозаборе / К. Ф. Артамонов. – Фрунзе: Издательство академии наук Киргизской ССР, 1963. – 343 с.

2 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84. – М.: Стройиздат, 1985. – 134 с.

3 Порядин, А. Ф. Устройство и эксплуатация водозаборов / А. Ф. Порядин. – М: Стройиздат, 1984. – 183 с.

4 Ильин, Ю. А. Расчет надежности подачи воды / Ю. А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1987. – 320 с.