

рога влажности почвы на уровне 60-60-80 % НВ при максимальных дозах внесения сапропеля.

Таким образом, повышение уровня влагообеспеченности почвы, несмотря на некоторое снижение процента содержания протеина в семенах сои, увеличивало валовой сбор белка с площади посевов за счет внесения расчетных доз сапропелей и общий выход белка с единицы площади. Искусственное повышение плодородия почвы за счет применения сапропеля способствовало как росту долевого содержания белка в зерне сои, так и общему выходу протеина с гектара посева.

Полевые опыты выявили заметное влияние режима увлажнения почвы на содержание жира в семенах сои. Причем, если доля протеина в зерне сои при повышении водообеспеченности уменьшается, то содержание жира растёт пропорционально увеличению предполивного уровня влажности почвы. Содержание жира в одном килограмме зерна сои было минимальным на вариантах, где поливы давались при снижении влажности почвы до 60-60-80 % НВ. Значение величины доли жира в семенах сои на этих вариантах изменялось в пределах 17,4-18,7%. Наибольший выход жира с единицы площади посевов был на варианте с режимом орошения 90-80-60 % НВ. Содержание жира здесь достигло 19,2%.

## ***ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ***

УДК 626.882

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ СТРУЕРЕАКТИВНОГО РЫБОЗАЩИТНОГО ОГОЛОВКА**

В.П. Боровской, Е.Д. Хецуриани  
НГМА, Новочеркасск, Россия

Создание экологически безопасных систем мелиоративных водозаборов тесно связано с решением проблем рыбозащиты. Несмотря на огромное количество разработанных конструкций рыбозащитных устройств и сооружений, на практике эффективно функционируют далеко не все. Анализ действующих устройств на реках Волга, Дон, Кубань и др. свидетельствует, что наиболее удовлетворительно функционируют рыбозащитные оголовки с потокообразователями. Особый интерес представляют конструкции оголовков без фильтрующего элемента и, в частности, конструкция струереактивного гидродинамического рыбозащитного оголовка, схема которого представлена на рисунке 1.

В этой конструкции отпугивание молоди рыб осуществляется путем создания перед всасывающим патрубком струйной пульсирующей завесы, которая формируется при вращении струеобразователей. Кинематические характеристики оголовка и завесы функционально связаны с частотой вращения струеобразователей. Установлению этой связи и посвящена данная работа.

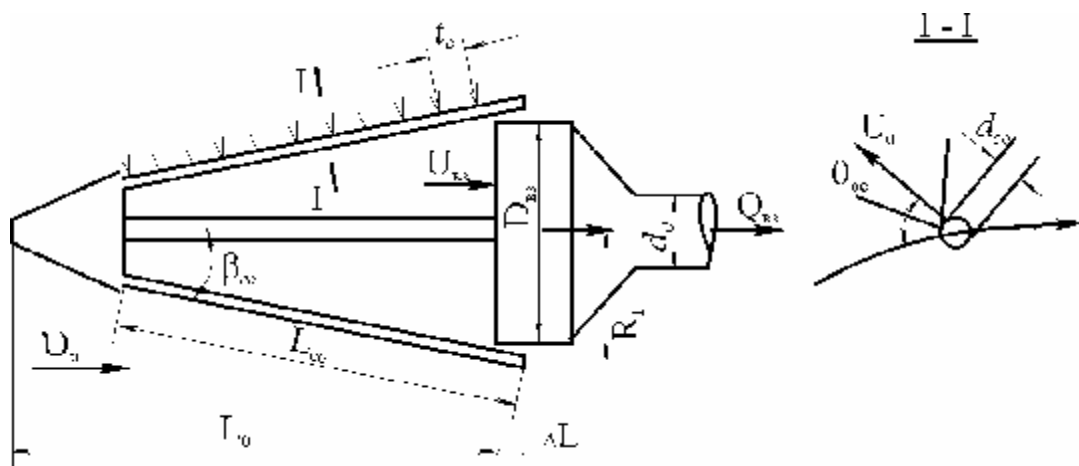


Рис. 1. Схема струереактивного оголовка

В расчете приняты следующие допущения: скорость набегающего потока значительно меньше скорости истечения из сопла, струеобразователи имеют прямолинейную форму, скорость истечения из сопел одинакова по его длине.

Исходными данными для расчета являются: расход водозабора ( $Q_{ВЗ}$ ), расход, обеспечивающий рыбозащиту ( $Q_{рз}$ ), количество струеобразователей на оголовке ( $N_{со}$ ), шаг установки сопел ( $t_c$ ), диаметр сопла ( $d_0$ ), диаметр струеобразователя ( $d_{со}$ ), диаметр водораспределительной камеры ( $d_{вк}$ ), длина струеобразователя ( $L_{со}$ ), угол наклона струеобразователя ( $b_{со}$ ), угол ориентации сопел на струеобразователе ( $q_{ос}$ ). По принятой частоте импульсов рыбозащитного оголовка ( $n_{имп} = const$ ) и частоте вращения струеобразователей ( $n_w$ ) определяется их общее количество в составе оголовка по формуле  $N_{со} = n_{имп} / n_w$ , где частота вращения струеобразователя связана с угловой скоростью ( $W_{со}$ ) и периодом вращения ( $T_w$ ) формулой

$$n_w = \frac{W_{со}}{2\pi} = \frac{1}{T_w}. \quad (1)$$

Для определения угловой скорости  $W_{со}$  осуществим расстановку сил, действующих на струеобразователь (рис. 2).

Тангенциальная скорость  $V_t$  является величиной переменной по длине струеобразователя и зависит от текущего радиуса ( $V_t = W_{со} r = var$ ).

Применительно к оголовку уравнение баланса сил, действующих на объект, выражается равенством их моментов, то есть:  $\sum M_{тяги} = \sum M_{сопр}$ .

Система струеобразователей приходит во вращательное движение под влиянием реактивной силы  $F_{гд}$ , обусловленной гидродинамическим давлением совокупности всех струй.

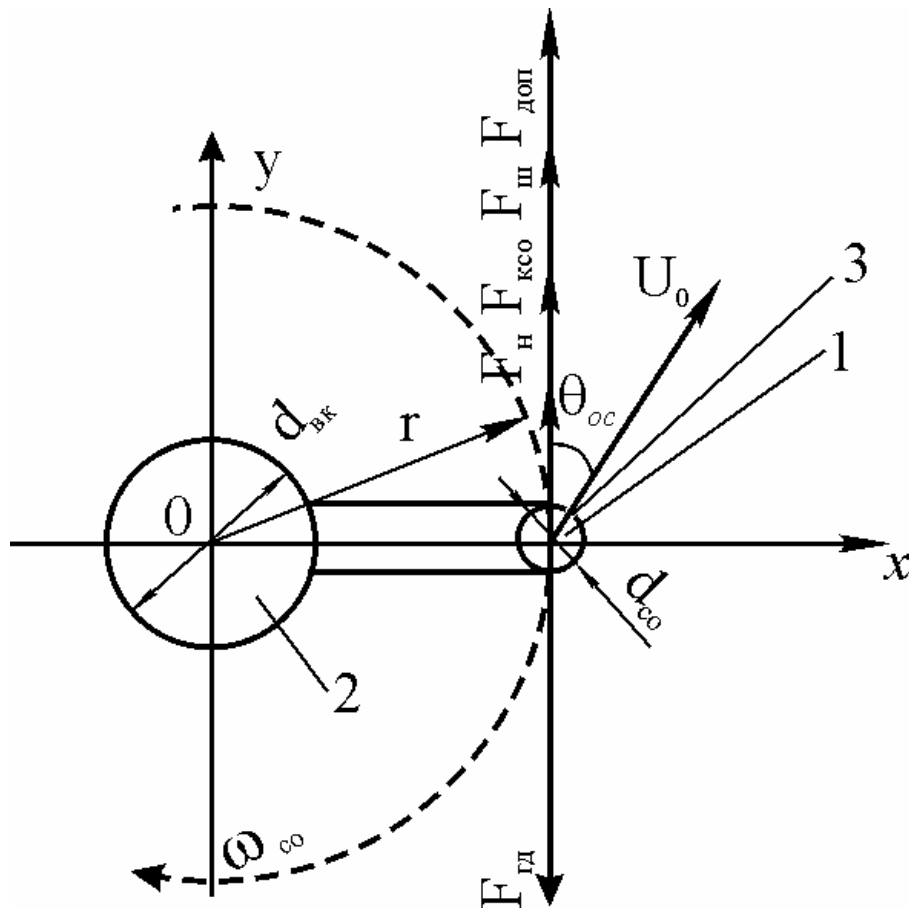


Рис. 2. Расчетная схема: 1 – струеобразователь; 2 – водораспределительная камера; 3 – сопло струеобразователя

К наиболее очевидным силам следует отнести: сопротивление давлению при обтекании струеобразователя -  $F_{ксо}$ , дополнительного сопротивления давлению отдельных опорных или крепежных конструктивных элементов -  $F_{доп}$  и сопротивления шарнирных соединений устройства (подшипников, сальников и т.п.) -  $F_{н}$ .

В этой конструкции совокупный шлейф скоростей реализует свою гидродинамическую природу двойственно. Создавая реактивную тягу, он, в тоже время, сам является объектом создающим сопротивление -  $F_{ш}$ .

Исходя из вышесказанного, мы можем представить уравнение баланса сил как равенство их моментов следующим образом:

$$M_{гд} = M_{н} + M_{ксо} + M_{ш} + M_{доп} = \int r dF_{н} + \int r dF_{ксо} + \int r dF_{ш} + \int r dF_{доп} . (2)$$

Зная физическую природу указанных сил, определим их значения.

Элементарная сила, обусловленная наличием гидродинамического давления  $dF_{гд}$  и определяется по следующей известной в гидравлике формуле [1]:

$$dF_{гд} = N_{co} r \frac{Q_{co} U_0 \text{Cos} q_{oc}}{L_{co} \text{Sin} b_{co}} dr . (3)$$

Сила сопротивления давлению при обтекании элемента коллектора струе-

образователя в водной среде  $dF_{\text{ксо}}$  находится по уравнению Ньютона, которое в соответствии с [2] в принятых обозначениях имеет следующий вид:

$$dF_{\text{ксо}} = N_{\text{со}} C_{\text{д}} r d_{\text{со}} \frac{V_t^2}{2 \text{Sin} b_{\text{со}}} dr, \quad (4)$$

где  $C_{\text{д}}$  - коэффициент сопротивления давлению.

Элементарная сила сопротивления обтеканию шлейфа  $dF_{\text{ш}}$  находится аналогично по следующей зависимости:

$$dF_{\text{ш}} = N_{\text{со}} C_{\text{ш}} r h_{\text{ш}} \frac{w_{\text{со}}^2}{2 \text{Sin} b_{\text{со}}} r^2 dr.$$

Для определения величины выделения шлейфа скоростей  $h_{\text{ш}}$  проанализируем характерные особенности его развития в сносящем потоке. Если рассматривать формирование шлейфа скоростей относительно подвижной системы координат, связанной со струеобразователем, то становится заметным, что вытекающая из сопла струя формируется в криволинейном поле скоростей, в котором векторы сносящих скоростей направлены тангенциально.

Струя, подобно упругому физическому телу, «сопротивляясь» своему изгибу, оказывает тем самым сопротивление набегающему потоку.

На рисунке 3 представлена схема формирования траектории шлейфа реактивных скоростей.

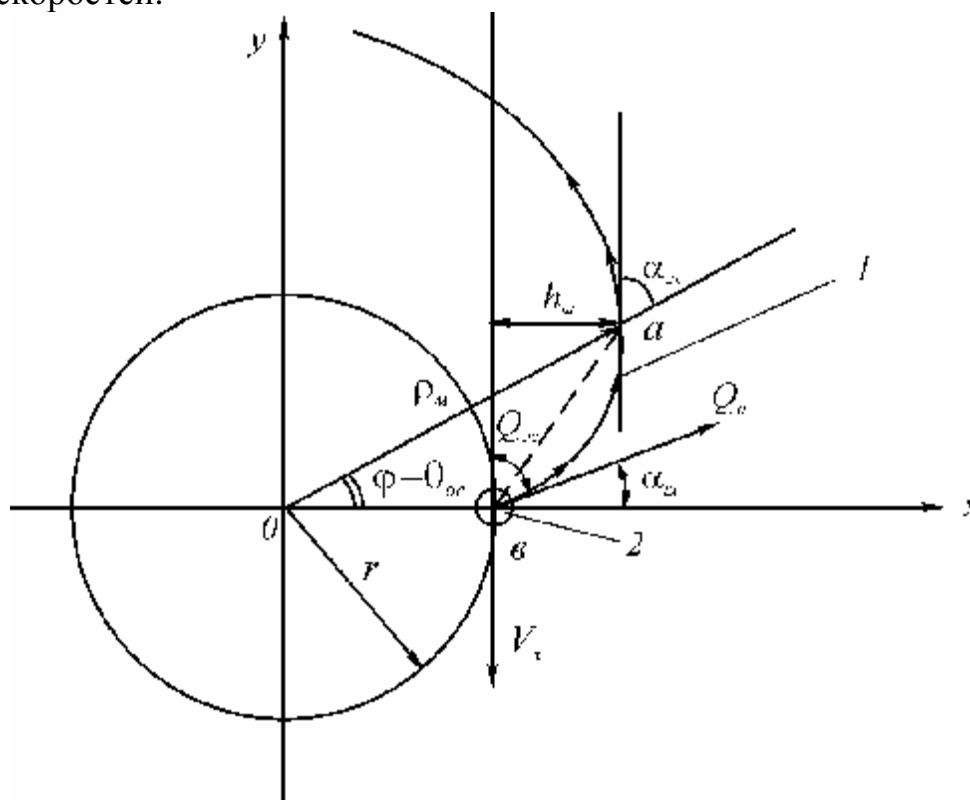


Рис. 3. Схема формирования траектории шлейфа реактивных скоростей:  
1 - траектория шлейфа скоростей; 2 - коллектор струеобразователя

Искомой величиной, характеризующей выделение шлейфа скоростей, на этой схеме является расстояние  $h_{\text{ш}}$ . Для ее нахождения необходимо определить положение траектории динамической оси совокупного шлейфа скоростей в системе координат, связанной со струеобразователем. Решение данной задачи в строгой математической постановке затруднительно, поэтому прибегнем к аппроксимации.

Прежде всего замечаем, что форма траектории шлейфа при отсутствии водозабора представляет собой спираль, которая на начальном этапе формируется подобно логарифмической. Поэтому в качестве аппроксимирующей зависимости принимается уравнение логарифмической спирали, которое в полярных координатах имеет следующий вид:  $r_{\text{ш}} = r \cdot e^{q_{\text{oc}} \text{tg} q_{\text{oc}}}$ . Величина  $h_{\text{ш}}$  определяется путем решения треугольника  $Oab$  по следующей формуле:  $h_{\text{ш}} = r_{\text{ш}} \text{Cos} q_{\text{oc}} - r$ . Подставив в это выражение значение  $r_{\text{ш}}$ , получаем следующую зависимость  $h_{\text{ш}} = r(e^{q_{\text{oc}} \text{tg} q_{\text{oc}}} - 1)$ . Для удобства ведения расчета введем следующее обозначение константы:  $k_q = e^{q_{\text{oc}} \text{tg} q_{\text{oc}}} - 1 = \text{const}$ . Тогда формула для выделения шлейфа скоростей примет еще более простой вид  $h_{\text{ш}} = k_q r$ .

С учетом этого зависимость для определения элементарной силы сопротивления обтеканию шлейфа принимает следующий вид:

$$dF_{\text{ш}} = N_{\text{co}} C_{\text{ш}} r k_q \frac{W_{\text{co}}^2}{2 \text{Sin} b_{\text{co}}} r^3 dr. \quad (5)$$

Из дополнительных сил наиболее существенное сопротивление оказывают опорные стержни. Поэтому определим  $F_{\text{доп}}$  как силу сопротивления, которая является следствием вращательного движения опорных стержней.

Полагаем, что каждый из опорных стержней имеющий в поперечном сечении цилиндрическую форму с диаметром  $d_{\text{ст}}$ , является прямолинейным и имеет длину  $L_{\text{ст}}$ . Они крепятся на корпусе шарнира с диаметром  $d_{\text{ск}}$ .

Сила трения, обусловленная вращательным движением опорных стержней вокруг оси оголовка, определяется подобно силе сопротивления давлению при обтекании коллектора струеобразователя, то есть:

$$dF_{\text{доп}} = N_{\text{co}} C_{\text{д}} r d_{\text{ст}} \frac{W_{\text{co}}^2}{2} r^2 dr. \quad (6)$$

Определение силы трения в шарнирных узлах устройства в теоретической постановке затруднено прежде всего из-за разнообразия форм шарнирных соединений и методов их расчета. Обычно сила трения скольжения определяется

косвенно по начальным условиям. Для этого определяется та начальная сила  $F_H$ , при которой система начинает вращаться. Применительно к оголовку эту начальную силу определим путем интегрирования элементарной реактивной силы струеобразователя, то есть:

$$F_H = \int_0^{F_H} dF_{гд} \text{ или } F_H = N_{co} r \frac{Q_H U_0 \text{Cos}q_{oc}}{L_{co} \text{Sin}b_{co}} \int_{r_{min}}^{r_{max}} dr.$$

После интегрирования получается следующая формула для определения начальной реактивной силы гидродинамического давления:

$$F_H = N_{co} r \frac{Q_H U_H \text{Cos}q_{oc}}{L_{co} \text{Sin}b_{co}} (r_{max} - r_{min}), \quad (7)$$

где  $Q_H, U_H$  - начальные (стартовые) значения расхода струеобразователя и скорости истечения из его сопл.

Подставив в уравнение баланса сил (2) значения, определенных по формулам (3)–(7), дифференциалов сил, проинтегрировав это выражение в диапазоне  $r = r_{min} \div r_{max}$  и, осуществив необходимые математические преобразования, получаем искомое выражение для угловой скорости:

$$w_{co} = \sqrt{\frac{(Q_{co} U_0 - Q_H U_H) \left( \frac{r_{max}^2 - r_{min}^2}{L_{co}} \right) \text{Cos}q_{oc}}{C_d (d_{co} + d_{ст} \text{sin} b_{co}) \left( \frac{r_{max}^4 - r_{min}^4}{4} \right) + C_{ш} k_q \left( \frac{r_{max}^5 - r_{min}^5}{5} \right)}.$$

Зная ее, можно определить частоту вращения струеобразователя  $n_w$  по формуле (1), тогда число оборотов струеобразователя в минуту составит  $N_w = 60n_w$ .

В заключении следует отметить, что определение начального значения расхода струеобразователя и скорости истечения из его сопл представляет собой индивидуальную характеристику конкретного оголовка, на базе которой данная методика позволяет определить основную характеристику рыбозащитного оголовка – связь  $N_w = f(Q_{вз}, Q_{рз})$ . Исследования экспериментальных моделей и сопоставление результатов с теорией свидетельствует о приемлемости данной методики в рамках принятых ограничений.

#### Литература

1. Гидравлика и аэродинамика: Учеб. Для вузов/ А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
2. Справочник по гидравлике/ Под ред. В.А. Большакова, - 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984. -343 с.

## МАЛОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ С МЕРЗЛОЙ ЧАШЕЙ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Ю.И. Вдовин, И.С. Соболев  
НГАСУ, Н.Новгород, Россия

На территории северо-востока страны, подверженной влиянию сурового северного климата и занятой вечной мерзлотой, эксплуатируется и строится множество малых водохранилищ для водоснабжения и мелиорации [1]. Эти водохранилища отличаются авариями вследствие возникшей фильтрации, прежде всего, когда напорный фронт гидроузлов образован плотиной талого типа [2]. Вместе с этим, теория и практика показывает, что в условиях среднегодовой температуры воздуха  $-(5...8)^{\circ}\text{C}$  и сплошной вечной мерзлоты могут успешно существовать грунтовые плотины и дамбы мерзлого типа, промороженные естественным холодом [3]. Надежность гидроузлов в этом случае повышается при отсутствии сквозного талика под водохранилищем.

Исследованиями предельного температурного состояния [4] для модельного водоема при осредненных природных условиях выявлено, что талик становится сквозным при относительной ширине водохранилища  $b/z_{мз} \geq 0,6$  (рис.1).

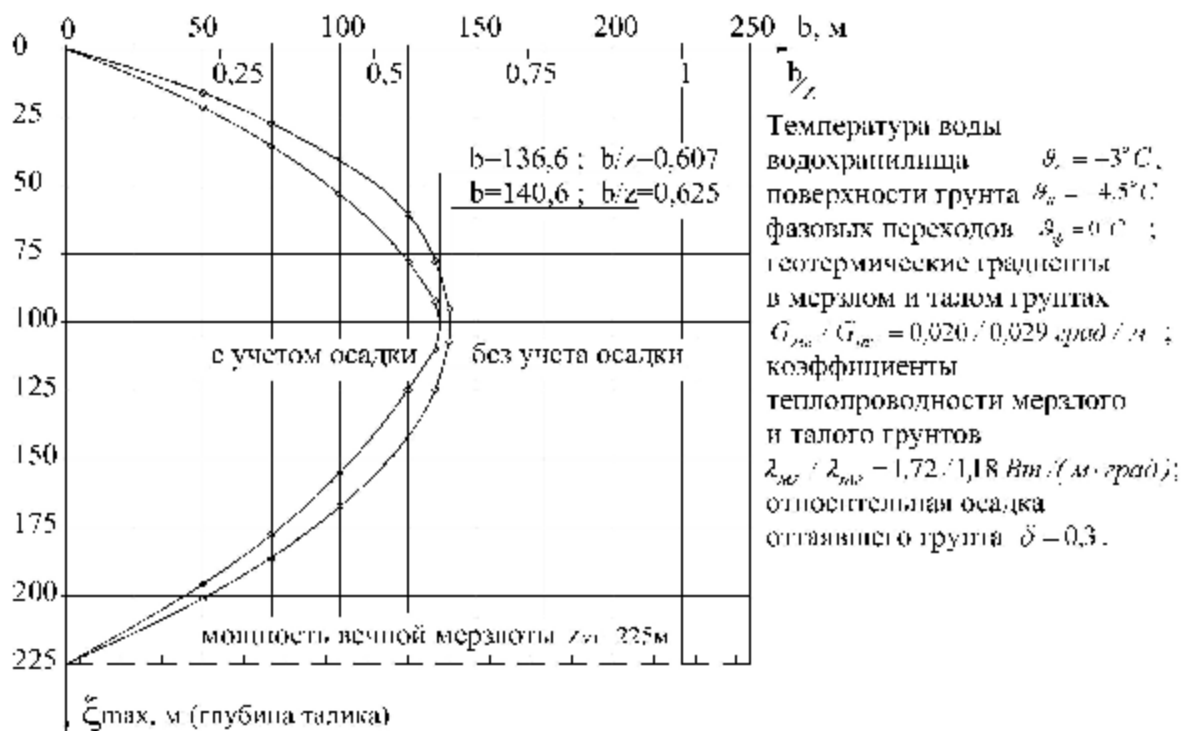


Рис.1. Зависимость глубины талика от ширины водоема и мощности вечной мерзлоты

В контексте изложенного обоснован способ создания малого водохранилища с мерзлой чашей, исключаяющей фильтрацию воды. Существо предложения состоит в следующем:

а) исходя из потребности в воде и топографических условий плановые размеры (ширину  $b$ ) водоема назначать такими, чтобы под ним в предельном состоянии мог существовать только несквозной талик с достаточно мощным слоем мерзлого грунта под ним;

б) для этого, при необходимости, размеры чаши ограничивать мерзлыми дамбами. Вариант с мерзлыми дамбами обвалования, кроме того, исключает подтопление защищаемой территории по сезонно талому слою грунта, одновременно решается задача сохранности от разрушения берегов;

в) напорный фронт гидроузла (грунтовую плотину) создавать мерзлого типа.

Таким способом образуется любой из известных типов малых водохранилищ (долинное, наливное и др.).

Примером реализации способа может служить проектируемый гидроузел на руч. Кудулах в системе водоснабжения нефтедобычи на Среднеботуобинском месторождении в республике Саха (Якутия). На рис.2 представлен план гидроузла и вертикальный температурный разрез по водохранилищу.

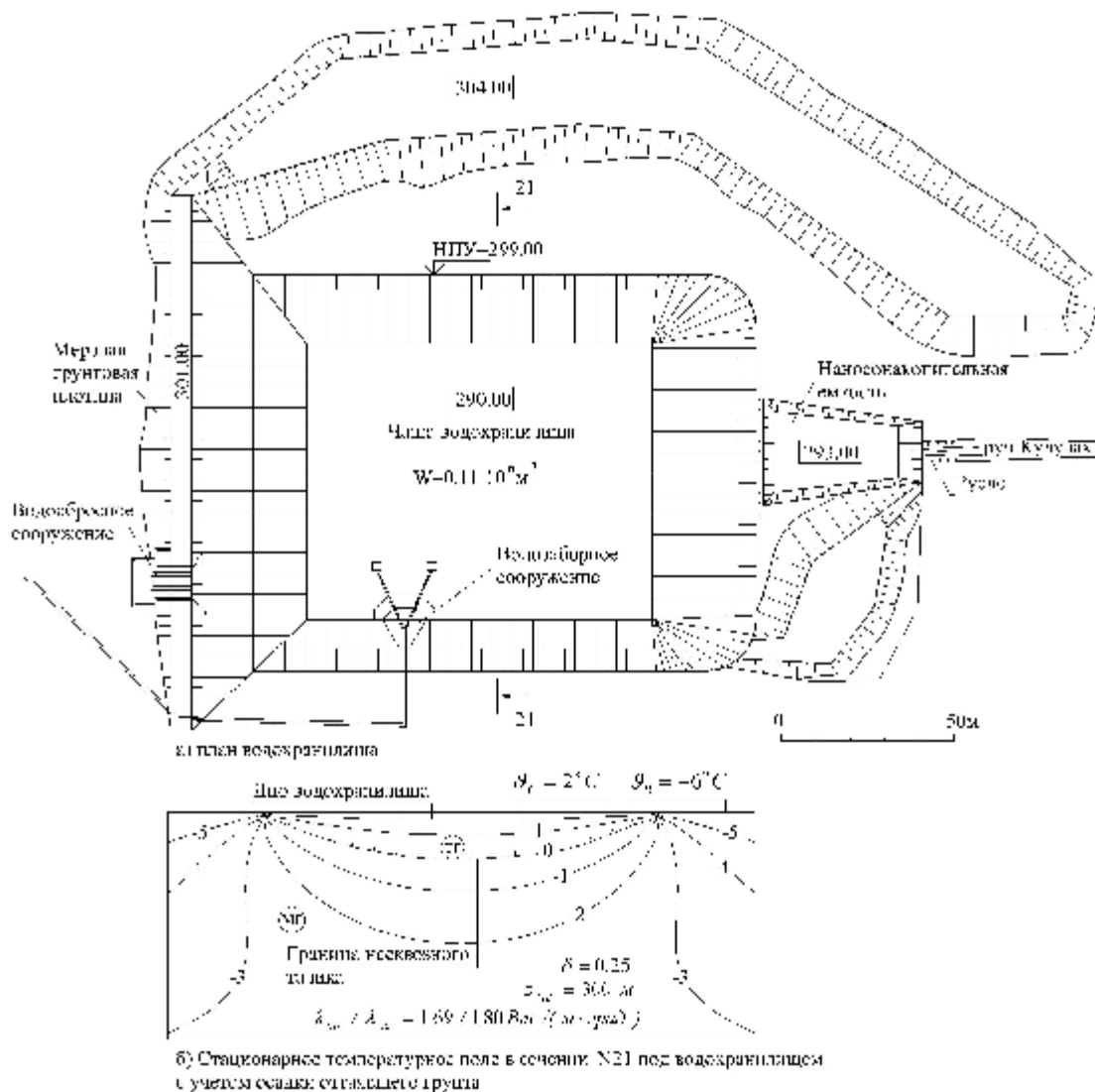


Рис. 2. Водохранилище на руч. Кудулах

С исключением фильтрации воды из чаши существенно повышается надежность малых водохранилищ в эксплуатации.

#### Литература

1. Вдовин, Ю.И. Водоснабжение на Севере / Ю.И.Вдовин. – Л.: Стройиздат, 1988. – 165 с.
2. Чжан, Р.В. Проектирование, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений низкого напора в криолитозоне / Р.В.Чжан. – Якутск: ИМ СО РАН, 2000. – 160 с.
3. Биянов, Г.Ф. Плотины на вечной мерзлоте / Г.Ф.Биянов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 176 с.
4. Соболев, И. С. Программа расчета и графической интерпретации пространственных стационарных температурных полей в основании водоемов криолитозоны / И. С. Соболев // Проблемы гидрофизики при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов энергетики: Сб. материалов Проскураков. чтений / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – СПб., 2001. - С. 53 - 55.

УДК 627.1:532.543

### **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОПУСКЕ ПОЛОВОДИЙ И ПАВОДКОВ**

М.А. Вольнов

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, Россия.

#### 1. Общие положения.

1.1. Под безопасностью гидротехнического сооружения (ГТС) понимается отсутствие опасности или угрозы потери устойчивости или разрушения ГТС от приложенных нагрузок и воздействий. Известны примеры, когда для безопасности ГТС нагрузки и воздействия уменьшают (уровень водохранилища поддерживается на отметке УМО, а сбросные сооружения постоянно полностью открыты). В этом случае безопасность сооружения не обеспечивает безопасности объектов, для защиты и нормальной работы которых оно было создано.

Значения нагрузок и воздействий должны находиться в диапазонах, которые возникают при работе в условиях соблюдения правил эксплуатации сооружения, установленных проектом, и при выполнении правил использования водных ресурсов водного объекта, на котором расположено сооружение. Именно для таких значений нагрузок и воздействий формулируются общие требования к системе управления безопасностью ГТС.

1.2. Нагрузки и воздействия, представляющие угрозу сооружению, могут быть разделены на две группы по вариантам реакции на них системы управления безопасностью ГТС.

1.2.1. Проектные нагрузки и воздействия, которые не могут быть изменены в силу необходимости выполнения сооружением своих проектных функций. В этом случае задачей системы управления безопасностью является приведение ГТС в такое состояние, при котором оно будет устойчиво против проектных нагрузок и воздействий, и поддержание ГТС в этом состоянии.

1.2.2. Экстремальные нагрузки и воздействия, возникающие в период прохождения половодий и паводков, которые достигают значений, превышающих проектные диапазоны, и создают угрозу немедленного разрушению ГТС. В этом случае задачей системы управления безопасностью является такое управление пропуском половодий и паводков по водотоку, на котором расположено сооружение, при котором значения нагрузок и воздействий на сооружение не превысят проектные диапазоны.

1.3. Система управления безопасностью гидротехнических сооружений при пропуске половодий и паводков представляет собой совокупность управляемого объекта (безопасность ГТС) и управляющего элемента (выработка управляющих воздействий). Применение управляющих воздействий возможно только через службу эксплуатации, поэтому присутствие службы эксплуатации на сооружении обязательно.

1.4. Общие требования к системе управления безопасностью гидротехнических сооружений при пропуске половодий и паводков разделяются на две неотъемлемые составные части.

1.4.1. Приведение и поддержание ГТС в таком состоянии, при котором оно будет устойчиво против проектных нагрузок и воздействий. Выполнение этой части требований относится к службе эксплуатации, и совершенно необходимо при пропуске половодий и паводков. Эта часть требований подробно изложена в законодательных, нормативно-правовых и технических документах, принятых во исполнение Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21.07.97 г., и далее не рассматривается.

1.4.2. Управление пропуском половодий и паводков, при котором нагрузки и воздействия на сооружение не превысят проектные значения, и тем самым будет обеспечена безопасность сооружения, при условии выполнения требований п. 1.4.1. Эта часть требований, предъявляемая к управляющему элементу системы управления, рассматривается ниже.

2. Требования к управляющему элементу системы управления безопасностью гидротехнических сооружений при пропуске половодий и паводков.

2.1. В качестве управляющего элемента системы управления безопасностью ГТС рассматривается подразделение специалистов в составе бассейнового органа государственного управления водными ресурсами бассейна, вырабатывающее варианты оперативных управленческих решений (сценариев) по пропуску паводков и половодий и выполняющее анализ этих вариантов.

Лицо, уполномоченное принимать решения (ЛПР), на основании анализа предложенных вариантов принимает окончательное решение и передает в службу эксплуатации ГТС. Критериями выбора окончательного решения могут быть минимизация ущербов при прохождении половодий и паводков, согласование интересов различных групп водопользователей и т.п.

2.1.1. Необходимо установить порядок разрешения споров и противоречивых требований различных групп водопользователей. Необходимо также в законодательном порядке установить полномочия лиц, принимающих решения, на период прохождения паводков и половодий

2.2. Если сооружение расположено так, что любые варианты пропуска паводков через него не оказывают заметного влияния на общую паводковую ситуацию в бассейне, то его система управления безопасностью может функционировать отдельно. Если условия пропуска половодий и паводков через сооружение оказывают влияние на паводковую ситуацию в бассейне, то оно должно рассматриваться совместно с другими сооружениями, а его система управления безопасностью становится частью системы управления безопасностью всех сооружений бассейна с общим элементом управления.

2.3. Сложность решения проблемы безаварийного пропуска половодий и паводков по территории бассейна предопределяет необходимость централизованного принятия управленческих решений. С этой целью необходимо создать на бассейновом уровне информационно-аналитический и ситуационный центр, в который составной частью войдет управляющий элемент системы управления безопасностью ГТС бассейна. В центр должна оперативно и в полном объеме поступать, храниться и обрабатываться мониторинговая, гидрометеорологическая и иная информация, необходимая для выработки, обоснования и принятия решений по управлению водными ресурсами. Критически важным фактором является достоверность гидрометеорологических прогнозов и своевременное получение гидрометеорологической информации. Необходимо восстановление сети гидрометеорологических станций и гидрометрических постов, а также разработка и широкое внедрение систем мониторинга гидротехнических сооружений III и IV классов

2.4. При подготовке и анализе сценариев подразделение специалистов управляющего элемента должно руководствоваться существующими или вновь разработанными с учетом изменений в природно-климатической и социально-экономической ситуациях правилами эксплуатации сооружений и правилами использования водных ресурсов рассматриваемого водотока. Соблюдение этих правил гарантирует нахождение нагрузок и воздействий в проектном диапазоне значений, а, следовательно, и безопасность сооружения.

2.4.1. Для разработки сценариев пропуска половодий и паводков по гидрографической сети бассейна предполагается выполнение в реальном времени гидравлических расчетов с использованием компьютерных технологий. Расчеты должны в полной мере учитывать динамику водного потока, т.е. выполняться по уравнениям неустановившегося движения, известным как уравнения Сен-Венана. Для возможности выполнения таких расчетов в информационно-аналитическом центре должна быть внедрена гидродинамическая модель бассейна, откалиброванная по данным наблюдений прошлых лет.

2.4.2. В качестве исходной информации для расчетов на гидродинамической модели используются результаты расчетов водохозяйственных балансов, результаты долгосрочных и краткосрочных прогнозов объемов и гидрографов стволовой и боковой приточности по участкам гидрографической сети. Уровни и расходы на сооружениях и в створах водпостов, а также уровенные режимы водоприемников в устьевых створах.

2.5. Требования к программному обеспечению поддержки принятия управляющих решений по пропуску половодий и паводков кроме использования

гидродинамической модели (п. 2.4.1.) предполагают решение следующих проблем:

- ведение детального посуточного (или более короткий интервал) мониторинга расходных и уровенных характеристик в опорных и расчетных створах;
- разработка модели долгосрочных и краткосрочных прогнозов стока с водосборной площади бассейна.

- разработка программ для решения пакета задач водохозяйственных балансов.

- разработка программ оценки общих и отраслевых ущербов, визуализации результатов расчетов и выдачи вариантов оперативного управления пропуском половодий и паводков;

- разработка программной оболочки поддержки принятия решений для выполнения по запросам ЛПР оценки и сравнительного анализа вариантов.

### 3. Требования к информационно-аналитическому и ситуационному центру.

3.1. Информационно-аналитический центр должен осуществлять информационное обеспечение деятельности бассейновых органов государственного управления и в том числе управляющих элементов системы управления безопасностью гидротехнических сооружений бассейна. С этой целью в бассейновые фонды передаются все необходимые информационные ресурсы. По соответствующим информационным каналам в бассейновые фонды должна поступать вся необходимая информация о состоянии водных объектов и гидротехнических сооружений в бассейне.

3.2. Большинство задач по управлению водными ресурсами являются исключительно наукоемкими, а снижение затрат на водохозяйственную и водоохранную деятельность напрямую связано с широким применением на практике научных разработок. Для развития научной сферы следует создавать и укреплять бассейновую сеть научных организаций. С этой целью в зоне деятельности бассейновых органов управления определяется специализированная научная организация.

Принципиально важным условием эффективности научного и информационно-аналитического обеспечения управления водными ресурсами является его непрерывность, систематический характер и устойчивость финансирования.

УДК 626.81/.84+627.8

## **НЕКОТОРЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ**

С.А. Гавриков, В.Л. Головин, А.В. Зверев  
ФГУП ДальНИИГиМ, Владивосток, Россия

Безопасность гидротехнических сооружений водохранилищ должна быть достаточной для обеспечения защиты жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов. К сооружениям, водохранилищ, повреждения которых могут привести к возникновению чрезвычай-

ной ситуации, относятся, плотина и водопроводящие сооружения: водосбросы, водоспуски, водовыпуски, т. е. сооружения напорного фронта. Поэтому при проектировании и эксплуатации водохозяйственных объектов на сооружения напорного фронта, должно обращать первостепенное внимание с точки зрения их безопасности.

Согласно Федеральному закону Российской Федерации «О безопасности гидротехнических сооружений» (1997 г.) при проектировании, строительстве, вводе в эксплуатацию, а также после реконструкции, капитального ремонта, восстановления или консервации гидротехнических сооружений обязательным является декларирование их безопасности. Декларация безопасности сооружения разрабатывается при напоре на сооружении более 3 м и объемах водохранилища более 0,5 млн. м<sup>3</sup>, накопителя – более 0,1 млн. м<sup>3</sup>.

При оценке состояния гидротехнических сооружений напорного фронта необходимо учитывать районные природно-климатические условия содержания сооружений, а также специфику комплекса сооружений (размер водохранилища, его назначение). Эффективно такие задачи могут быть решены на примере конкретных гидроузлов. В южной части Дальнего Востока России (Приамурье, Приморье) такими гидроузлами являются, в частности, Берестовецкое, Кролевецкое Синтупиковское и Славянское водохранилища в Приморском крае. Их назначение – орошение земель и регулирование стока. Плотины водохранилищ – земляные.

Берестовецкое водохранилище введено в эксплуатацию в 1984 году. Полный его объем 23,35 млн. м<sup>3</sup> (при форсированном подпорном уровне, здесь и далее); длина плотины 754 м, наибольшая ее высота – 15,5 м. При строительстве водохранилища были допущены отступления от проектных решений плотины и водосброса: парапет гребня плотины не замкнут на склоны долины в лево- и правобережных примыканиях плотины, а у водосброса вместо буронабивных опорных свай концевой площадки быстротока применены железобетонные сваи, быстро разрушающиеся в условиях переменных температур и влажности. Поскольку плотина и водосброс не отвечают требованиям безопасности при эксплуатации водохранилища в проектном режиме, требовалось определить технические условия их безопасности до предстоящей реконструкции.

У Кролевецкого водохранилища (полный объем 10,75 млн. м<sup>3</sup>; длина плотины 1144 м, наибольшая высота – 16,4 м), введенного в эксплуатацию в 1982 году, проектом не был предусмотрен водосброс. Поэтому требовалось оценить реальность угрозы переполнения водохранилища с учетом дополнительно накопленной гидрометрической информации и новых приемов расчета дождевых паводков, а также оценить надежность имеющихся гидротехнических сооружений – плотины и донного водовыпуска.

У Синтупиковское водохранилища (полный объем 8,60 млн. м<sup>3</sup>; длина плотины 208 м, наибольшая высота – 17,5 м), введенного в эксплуатацию в 1984 году, наблюдается значительная сосредоточенная фильтрация под плотиной на участке бывшего тальвега. В 2000 году при подъеме уровня воды в водохрани-

лище примерно на 1 м выше нормального подпорного уровня произошла местная просадка низового откоса плотины на этом участке. Это случилось в сильный дождь, вызванный прохождением тропического циклона «Prapiroon». Требовалось определить технические условия безопасной эксплуатации плотины до предстоящего ее ремонта.

У Славянского водохранилища (полный объем 8,45 млн. м<sup>3</sup>; длина плотины 965 м, наибольшая высота – 10,1 м), введенного в эксплуатацию в 1979 году, имеется только резервный водосброс, а предусмотренный проектом основной водосброс построен не был. В связи с этим было необходимо определить условия поддержания этого водохранилища в безопасном состоянии в отношении его переполнения (если не выводить водохранилище из эксплуатации).

В 2004 году ФГУП «ДальНИИГиМ» была произведена оценка безопасности гидротехнических сооружений этих водохранилищ на основе их натурального обследования и гидрологических, гидравлических, фильтрационных и других поверочных расчетов. При этом для учета сложных природно-климатических условий, в которых находятся водохранилища (сложный рельеф, дождевые паводки, вызываемые интенсивными и продолжительными дождями циклонического происхождения), а также устранения некоторых неопределенностей при принятии исходных данных, возникла необходимость в дополнениях к некоторым требованиям к оценке технических условий безопасной эксплуатации сооружений.

На реках в природно-климатических условиях юга Дальнего Востока, особенно на реках малых, дождевые паводки формируются быстротечно. По данным наблюдений, на горных реках с площадями водосбора даже 1000 км<sup>2</sup> пик паводка может наступить уже через сутки после его начала. Поэтому в определенных случаях параметры волны прорыва напорного фронта водохранилищ должны рассчитываться для ситуации разрушения сооружений в условиях уровня воды в водохранилище на отметке гребня плотины, а не только в условиях нормального подпорного уровня и более низких подпорных уровней, как это нормируется документом СНиП 2.01.51-90 «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны».

Например, к таким случаям относится ситуация по Кролевецкому водохранилищу, у которого проектом не предусмотрен и отсутствует поверхностный водосброс. К таким же случаям относится и ситуация по Славянскому водохранилищу, у которого проектом предусмотрен, но не построен основной водосброс. Для сооружений, которые могут быть подвержены такому виду повреждений, как вышеупомянутое повреждение плотины Синтупиковского водохранилища, параметры волны прорыва напорного фронта гидроузла должны определяться для ситуации разрушения сооружений фронта в условиях подпорного уровня выше нормального подпорного уровня на определенную высоту, устанавливаемую по данным наблюдений. Для Синтупиковского водохранилища такая высота составляет 1 м.

Определенные затруднения возникают при определении расчетной ширины прорана в земляной плотине для случая возможной аварии сооружения напорного фронта. По данным натурных исследований разработана формула ширины прорана, основанная на условии, что форма прорана соответствует форме долины реки в створе плотины.

Такое условие применяется в практике расчетов в связи с тем, что размеры прорана нельзя ни предугадать, ни обосновать какими-либо расчетами. Эти размеры зависят от конструкции и материала подпорного сооружения, от первопричины образования прорана и от других факторов в очень сложном их взаимодействии.

При применении формулы устраняются неопределенность и противоречие в решении вопроса о ширине прорана при ее определении на основе вышеприведенного условия. Формула имеет вид

$$B = \frac{l_y H}{h},$$

где  $B$  – ширина прорана по гребню плотины;  $l_y$  – условное расстояние между бровками склонов долины в створе плотины, принимаемое как для заложения склонов долины по заложению откосов прорана 1:1;  $H$  – глубина прорана от гребня плотины;  $h$  – высота бровок склонов долины над дном долины, как среднее по двум склонам. Значение  $l_y$  определяется с помощью схематического графика поперечного сечения долины с прораном в плотине при заложении откосов прорана и склонов долины 1:1.

Если в формуле расстояние между бровками склонов долины в створе плотины не принимать как для заложения склонов по заложению откосов прорана 1:1, то откосы прорана в зависимости от степени пологости склонов долины могут получаться сколь угодно пологими, что противоречит действительности, а относительная ширина прорана – сколь угодно большой. Из литературных же источников, в которых рассматриваются случаи аварии плотин, известно, что не зарегистрировано ни одного случая полного разрушения плотины по всему напорному фронту, а максимальная ширина прорана не превышает 0,5 длины напорного фронта. В основном возникает проран шириной 0,20–0,35 от длины плотины. Об этом же говорят и данные натурных обследований проранов, образовавшихся в плотинах водохранилищ Приморья: Прифермском, Кононенковском, Славянском, Синеловском, Белореченском.

Для Берестовецкого, Кролевецкого, Синтупиковского и Славянского водохранилищ расчеты ширины прорана по предлагаемой формуле дают значения ширины прорана соответственно 0,27; 0,10; 0,31 и 0,30 от длины плотины.

Использование вышеприведенных дополнений к требованиям к оценке безопасности гидротехнических сооружений повышает обоснованность принятия исходных данных для прогнозирования инженерных последствий прорыва напорного фронта водохранилища, сопровождающихся образованием волны

прорыва и, следовательно, объективность оценки ущерба, возможного вследствие аварии гидротехнического сооружения.

УДК 626/627 (571.61/.64)

## **ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ЗАЩИТЫ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ОТ НАВОДНЕНИЙ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

С.А. Гавриков,

ФГУП ДальНИИГиМ, Владивосток, Россия

В.К. Шутько

ДП ФГУП ДальНИИВХ, Владивосток, Россия

Основным исторически сложившимся средством инженерной защиты сельскохозяйственных угодий от затопления в периоды наводнений на юге Дальнего Востока России, вызываемых дождевыми паводками на реках, являются дамбы обвалования мелиоративных систем (осушительных, осушительно-оросительных, рисовых оросительных и др.). Для стабилизации планового расположения русла реки применяются речные берегоукрепительные сооружения, обычно, в виде береговой каменной наброски и камненабросных шпор на участках берегов, подверженных размыву в паводки. Иногда для этих целей применяют матрацы Рено и габионы.

В Приморском крае общая протяженность таких дамб на 1989 г. составляла 1200 км, ими защищалось от наводнений около 140 тыс. га сельхозугодий. Паводками в 1989 г. было разрушено 240 км дамб. Происходили их разрушения и в предыдущие, и в последующие годы. Так в 2000 г. в период 28 июля – 1 августа паводками от дождей при прохождении тропического циклона (тайфуна) «Болавен» были повреждены или разрушены 34 дамбы.

Практически ежегодно обильные летне-осенние дожди циклонического происхождения вызывают паводки на реках того или иного района или более обширной территории, в результате которых происходят разрушения защитных сооружений мелиоративных систем, что приводит к потерям урожая, выходу из строя плодородных земель, разрушениям других сооружений систем (каналов, трубчатых и мостовых переездов и пр.).

Для выяснения причин разрушения дамб и берегоукреплений авторами в 2000–2001 годах проведены натурные обследования таких сооружений в различных районах Приморского края с анализом проектных решений. Объектом исследования являлось техническое состояние дамб обвалования мелиоративных систем и речных берегоукрепительных сооружений для защиты сельскохозяйственных угодий от наводнений в бассейнах рек Уссури, Партизанской и Раздольной. Целью исследования являлось определение причин повреждений или разрушений дамб обвалования и берегоукрепительных сооружений, имевших место во многих случаях, и путей улучшения защиты мелиоративных систем от наводнений.

Был осуществлен сбор топографической и проектной документации. Рассмотрены типичные случаи проектных решений по конструкциям дамб и бере-

гоукреплений. Определено местоположение существующих дамб обвалования мелиоративных систем в бассейнах вышеназванных рек с выносом трасс дамб на топографические карты масштабов 1:100000 и 1:25000 и выбраны объекты для проведения натурных обследований. В бассейне р. Уссури обследованы дамбы обвалования 34 мелиоративных систем и крепление правого берега р. Арсеньевки в среднем течении (у с. Яблоновки, уклон русла 0,00015). В бассейне р. Партизанской обследованы дамбы обвалования шести мелиоративных систем и крепление левого берега р. Партизанской на двух участках ее среднего течения: у с. Фроловки и у пос. Перетино (уклоны русла соответственно 0,0046 и 0,0031). В бассейне р. Раздольной обследованы дамбы 21 мелиоративной системы и крепление левого берега р. Раздольной на двух участках: в среднем течении (у с. Покровки, уклон русла 0,0012) и на переходном участке среднего и нижнего течения (у пос. Городечное, уклон русла 0,00012).

Установлено, что в нижних течениях рек Уссури (до устья р. Сунгач) и Арсеньевки, а также в бассейне р. Раздольной дамбы большинства мелиоративных систем и берегоукрепительные сооружения находятся в удовлетворительном техническом состоянии. В среднем же течении рек Уссури и Арсеньевки и в бассейне р. Партизанской дамбы всех мелиоративных систем либо имеют местные повреждения, либо полностью разрушены (смыты) на отдельных участках или на большем своем протяжении. Берегоукрепительные сооружения левого берега р. Партизанской у с. Фроловки и у пос. Перетино смыты при прохождении паводков.

В настоящее время в рассматриваемых речных бассейнах для дамб многих мелиоративных систем существует угроза подмыва основания и последующего разрушения дамбы из-за плановых деформаций русла реки и его приближения к верховому откосу дамбы. В большей мере это касается мелиоративных систем в бассейнах рек Партизанской и Уссури. Эти реки и их притоки имеют уклоны, значительно большие, чем уклоны р. Раздольной и ее притоков.

Проведенное исследование позволило наметить пути улучшения защиты мелиоративных систем от наводнений с помощью дамб обвалования и берегоукрепительных сооружений для районов с большими скоростями паводочного потока, определяемыми уклоном реки.

Эти пути, в основном, заключаются в следующем.

При проектировании дамб обвалования и определении способа защиты территории от размыва с помощью берегоукрепления следует учитывать ширину долины, естественные и искусственные расширения и сужения долины, прежние плановые расположения русла реки (по плановому расположению стариц), физико-механические свойства грунтов, слагающих русло и пойму реки на участке намечаемого строительства дамбы, уклон реки.

Необходим прогноз как плановых, так и вертикальных деформаций русла реки, что позволит не только обоснованно выбрать трассу дамбы, но и обеспечить необходимое и достаточное заглубление крепления верхового откоса дамбы и конструкции берегоукрепительного сооружения относительно дна реки. Этот прогноз и применение соответствующих материалов и конструкций крепления, определяемых расчетными глубинами размыва, неразмывающими ско-

ростями течения потока, физико-механическими характеристиками грунтов, обеспечит устойчивость конструкций от подмыва и последующего разрушения.

Определению достаточности глубины заглубления конструкции крепления берега реки или верхового откоса дамбы относительно дна реки необходимо придавать особое значение. Именно путем первоначального подмыва дамб обвалования и береговой каменной наброски у их оснований произошли дальнейшие разрушения дамб и берегоукреплений во всех случаях, зафиксированных при вышеизложенных натуральных обследованиях.

Должны точно определяться участки реки, где необходимо предусмотреть устойчивое крепление берега. Для этого необходимо знать положение динамической оси паводочного потока в местах возможных плановых деформаций русла.

Для определения устойчивой к размыву конструкции крепления верхового откоса дамбы или берегоукрепления в каждом конкретном случае необходимо тщательно изучить скоростную структуру паводочного потока, определяемую, в первую очередь, уклоном реки.

Проведенные натурные обследования дамб и берегоукреплений показывают, что при проектировании этих сооружений вышеприведенные положения теории и практики русловых процессов в должной мере не учитывались. И если на сохранности дамб мелиоративных систем в бассейне р. Раздольной с ее сравнительно небольшими уклонами это отразилось сравнительно не сильно, то в бассейне р. Партизанской с ее большими уклонами дамбы всех мелиоративных систем на определенных участках были повреждены, а чаще полностью разрушены, а все берегоукрепления смыты или обойдены рекой. Состояние дамб и берегоукреплений в бассейне р. Уссури занимает в этом отношении промежуточное положение, более близкое к состоянию сооружений в бассейне р. Партизанской, что соотносится с величинами уклонов рассматриваемых рек.

Результаты проведенного исследования будут полезными для обоснования проектных решений по конструкциям дамб, берегоукрепительных сооружений и их плановому расположению при разработке территориальных строительных норм проектирования сооружений, а также конкретных мероприятий по инженерной защите территорий Приморья и других районов юга Дальнего Востока от наводнений.

УДК 626/627, 624.137.4, 627.8

## **ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН ГИДРОСООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

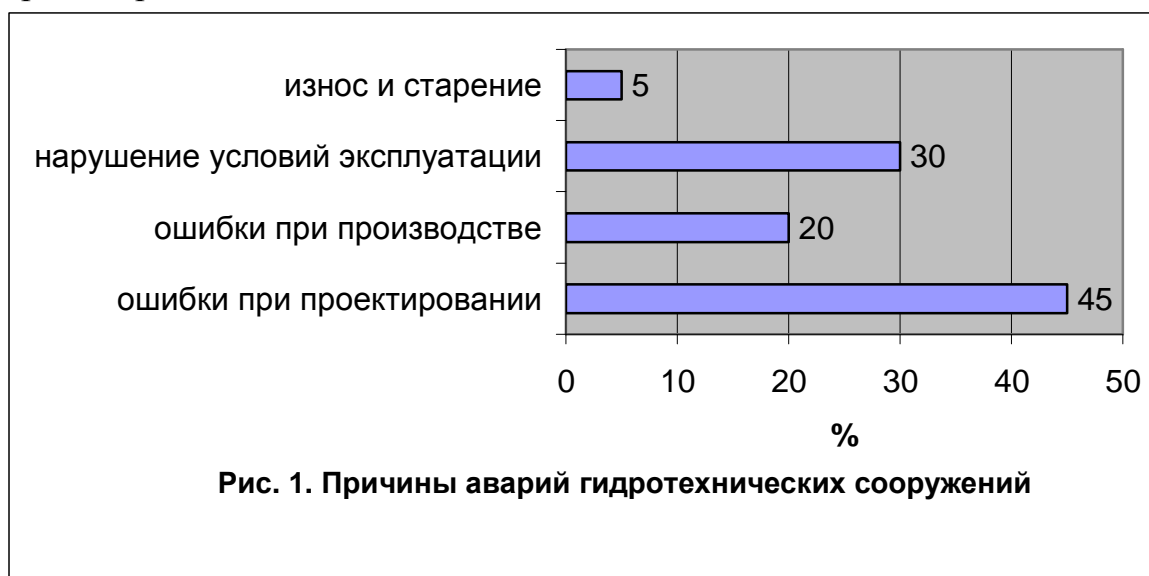
О.А. Доронкина

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, Россия

На территории России эксплуатируется несколько десятков тысяч плотин и других гидросооружений мелиоративного назначения, отнесенных к сооружениям III и IV классов. За последние десятилетия уровень безопасности этих сооружений существенно понизился, о чем свидетельствует статистика произо-

шедших аварий. Это связано с уменьшением объемов ремонтных работ, сокращением штатов эксплуатационного персонала, появлением бесхозных ГТС и рядом других причин. Кроме того, в отличие от сооружений I и II классов, гидротехнические сооружения III и IV классов имеют по нормативам значительно меньшее количество или полное отсутствие контрольно-измерительной аппаратуры, постов наблюдений и эксплуатируются менее квалифицированными кадрами.

Известны различные классификации причин, приводящих к авариям гидротехнических сооружений. По данным Ц. Е. Мирцхулава [1] 40...50% аварий происходит из-за ошибок при проектировании, 20 % - из-за ошибок при производстве, 30 % - из-за нарушений условий эксплуатации и 5...7 % - из-за износа и старения (рис. 1).



На основе анализа аварий на существующих грунтовых плотинах были выделены основные конструктивные элементы, для которых необходимо тщательное наблюдение и обследование: верховой и низовой откосы с их креплением; гребень; противофильтрационное устройство в теле плотины и в основании; дренаж; ливнеотводящие и дренажные каналы; сопряжения грунтовых и бетонных элементов; сопряжение тела плотины с основанием; зона влияния плотины в верхнем и нижнем бьефах.

Обобщение результатов обследования эксплуатируемых грунтовых плотин и их аварий, дает основание отметить, что верховой откос и его крепление относятся к одним из наиболее уязвимых конструктивных элементов, часто подвергающихся разрушениям.

На верховом откосе имеются зоны сопряжения различных по материалу элементов плотины (например, сопряжение бетонного крепления и обратного фильтра). Откос находится под воздействием переменного уровня воды, атмосферных осадков, солнечной радиации, ветра и др. Поверхности верховых откосов в наибольшей степени подвержены воздействию волновых и ледовых нагрузок. Места переменного увлажнения элементов грунтовой плотины быстрее изменяют свои эксплуатационные показатели. При осмотре верховых откосов в зависимости от типа крепления наблюдаются деформации и нарушения.

Для каменного крепления – это переработка камня волнами и выветривание. Участки переработки откосов волнами характеризуются наличием промоин-пазух в верхней части откоса, смещенных в сторону гребня. У подножия пазух по линии уреза воды наблюдается скопление относительно крупного камня. Данный дефект был обнаружен на креплении верхового откоса плотины Пировского гидроузла.

Признаками повреждения бетонного и железобетонного крепления откоса может быть – увеличение шероховатости поверхности, обнажение камней заполнителя и арматуры, раскрытие швов, взаимное смещение и просадка плит (Октябрьское, Поляковское водохранилища).

У откосов с асфальтовым креплением можно обнаружить вынос грунта из-под покрытия, просадки.

Появление растительности, полосы прибоя, навалы мусора, изменение очертания откосов характерны для всех типов крепления.

Причины аварий грунтовых плотин обусловлены не только ухудшением эксплуатационных характеристик против проектных значений. Многие сооружения оказываются в ситуациях, не предусмотренных проектом, которые требуют особого изучения.

К числу таких ситуаций можно отнести вынужденную эксплуатацию водохранилища на уровне мертвого объема (УМО) из-за опасения разрушения напорного фронта гидроузла.

На рисунке 2 представлена зона разрушения бетонного крепления верхового откоса земляной плотины Октябрьского водохранилища. На верховом откосе земляной плотины, укрепленном железобетонными плитами, выявлены участки разрушения крепления и вымыва грунта из тела плотины на значительную глубину. Также отмечены разрывы в швах между сборными плитами с вымывом грунта из-под них, просадка нижних рядов железобетонных плит на многих участках.



Рис. 2. Разрушения бетонного крепления верхового откоса плотины Октябрьского водохранилища

Анализ проектных материалов по креплению верхового откоса земляной плотины железобетонными плитами показал, что главной причиной разрушения была укладка плит непосредственно на глинистые грунты плотины без устройства фильтровой подготовки. При производстве ремонтных работ обратный фильтр под плитами опять не был уложен. В данном случае при производстве работ не соблюдались указания СНиП 2.06.05-84\*. Кроме того, эксплуатация водохранилища происходила в режиме уровня мертвого объема. Понижение полосы приборя привело к частичному разрушению опорного зуба крепления и сползанию первых рядов плит крепления.

Эксплуатация Шапсугского водохранилища в республике Адыгея, спущенного до уровня мертвого объема, происходит в режиме прямотока. Здесь наблюдается постепенное разрушение обсохших ограждающих дамб. Территория ложа водохранилища заросла высшей болотной растительностью. Неконтролируемые расходы через сбросные сооружения ведут к их разрушению, а также угрожают затоплением территории, расположенной в нижнем бьефе.

Другая ситуация, заслуживающая внимания, это некачественный прогноз паводковых расходов и ошибок в управлении пропуском паводков.

На Поляковском гидроузле в Самарской области было отмечено отсутствие предпаводковой сработки водохранилища. В результате данной ситуации произошло намокание грунтов верхней части напорного откоса, приведшее в зимний период к морозному пучению грунта тела плотины и деформации крепления. Ледовыми полями был разрушен входной оголовок паводкового сифонного водосброса.

Строительными нормами и правилами предусматриваются поверочные расчеты на устойчивость откосов, на опрокидывание, на фильтрационную прочность, устойчивость против нагрузок от ветрового нагона, волновых воздействий и др. Но в нормативной документации не рассматриваются ситуации, возникающие при сочетании экстремальных нагрузок и являющиеся основной причиной разрушения сооружений в современных условиях.

Например, при эксплуатации водохранилищ при форсированном подпорном уровне может возникнуть экстремальная штормовая нагрузка. Волны могут достигнуть гребня плотины и перелиться через него.

При длительной эксплуатации на уровне мертвого объема волновые, ледовые нагрузки могут негативно влиять на входные оголовки водозаборных и водопропускных сооружений и крепления верховых откосов.

В случае выхода из строя дренажа может происходить выклинивание кривой депрессии на низовой откос с угрозой потери суффозионной устойчивости грунтов тела плотины. Такая ситуация не предусмотрена СНиПом, т. к. считалось, что дренаж должен быть немедленно отремонтирован. Однако известны случаи, когда на ремонт не выделялось финансирование, и плотины с неработающими дренажами эксплуатировались несколько лет. В этом случае постепенное намокание тела плотины грозит потерей устойчивости ее откосов.

Перечень сочетаний экстремальных нагрузок может быть продолжен. Для каждого из таких сочетаний следует выполнить прогноз состояния, и преду-

смаatrивать его результаты в проектах реконструкции и капитального ремонта сооружений.

#### Литература

1. Кавешников Н. Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений. М. Агропрмиздат, 1989 г.
2. Малаханов В. В. Техническая диагностика грунтовых плотин. М.: Энергоатомиздат, 1990г.
3. Рекомендации по проведению визуальных наблюдений и обследований на грунтовых плотинах П72-2000, ВНИИГ, Санкт-Петербург.
4. СНиП 2.06.05-84\* Плотины из грунтовых материалов.
5. Декларация безопасности Октябрьского водохранилища. М., 2004 г.
6. Декларация безопасности Поляковского водохранилища. М., 2004 г.

УДК 626.1.17+624.137.4

### **ОБЛЕГЧЕННЫЕ КРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

А.Н. Ежков

ННГАСУ, Н.Новгород, Россия

К облегчённым креплениям грунтовых откосов гидромелиоративных сооружений относятся крепления из минеральных каменных и гравийно-песчаных материалов, крепления с использованием синтетических и геотекстильных материалов, а также крепления из материалов органического происхождения. Как наиболее распространённые можно выделить следующие типы креплений [1]:

- из минеральных материалов:

- 1) каменная наброска;
- 2) каменное мощение;
- 3) каменная наброска в плетнёвых клетках;
- 4) каменная наброска с проращиваемыми кольями;
- 5) фашинное крепление;
- 6) каменная наброска в железобетонных ящиках;
- 7) габионное крепление;
- 8) крепление с использованием синтетических и геотекстильных материалов: GEOWEB, Incomat, Secumat, Secudran, Terrafix и др.;

- из органических материалов:

- 1) хворостяная и тюфячная кладка;
- 2) хворостяные плетни;
- 3) посадка кустарника;
- 4) одерновка;
- 5) посев многолетних трав по слою растительного грунта.

Перечисленные типы креплений откосов обладают рядом достоинств. Это в первую очередь – возможность применения местных строительных материалов вместо дорогостоящих привозных и бетонных. Они практически не нару-

шают естественный ландшафт, поскольку обладают необходимой деформативностью и не требуют строгой планировки откосов. Внешний вид креплений соответствует естественной природной среде, что является важным экологическим аспектом. Их применение позволяет сохранить естественный природный дренаж. Названные крепления значительно дешевле креплений из бетона и асфальтобетона.

Указанные типы креплений имеют ограничения для применения на крупных гидроузлах, но широко используются для крепления откосов сравнительно небольших гидротехнических сооружений (каналы, плотины, регуляционные сооружения, берега, рек и др.).

Крепление грунтовых откосов гидротехнических сооружений с использованием синтетических и геотекстильных материалов GEOWEB, Incomat, Secumat, Secudran и др. является новым типом крепления. Перечень объектов применения пока достаточно узок. Диапазон применения крепления с использованием геосинтетиков не определен. Выявление этого диапазона является важной научной и практической задачей.

Одним из вариантов является крепление из ячеистых полиэтиленовых панелей GEOWEB с дисперсными заполнителями.

Ячеистая полиэтиленовая панель – это гибкая конструкция, выполненная из высокопрочных полиэтиленовых лент путем их сварки по отдельным линиям. В растянутом состоянии образуется сквозная ячеистая панель, которая может укладываться на грунт и загружаться заполнителем. Панели выпускаются различными фирмами в США, России, Китае и других странах. Внешний вид и параметры панелей приводятся на рис. 1 [2].

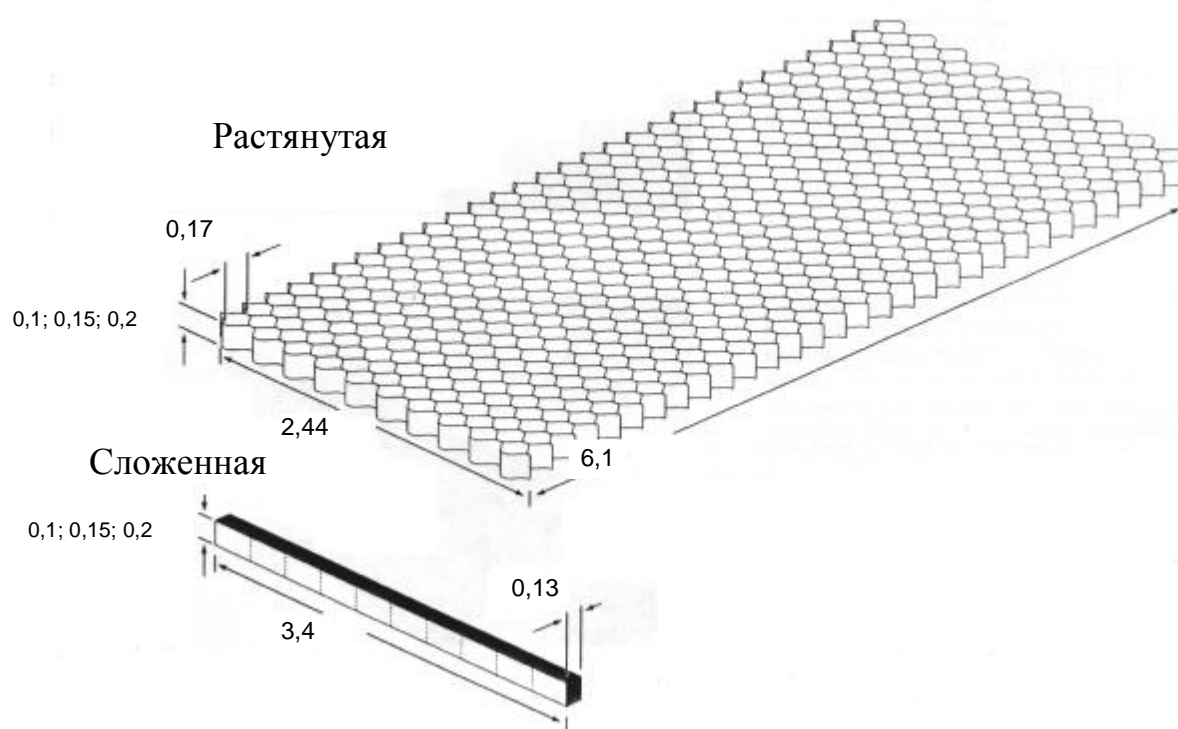


Рис.1. Внешний вид и размеры панели «GEOWEB» (размеры в метрах)

Впервые в России крепление откосов ячеистыми полиэтиленовыми панелями GEOWEB с дисперсными заполнителями применено около 10 лет назад на объектах АО «Нижегородспецгидрострой», наиболее крупными из которых являются струнаправляющие дамбы моста через р. Ветлуга и подходы к наплавному мосту через р. Волга. Крепление получает широкое распространение в Нижегородской и др. областях и имеет хорошие перспективы на будущее.

С использованием ячеистых полиэтиленовых панелей возможно устройство двух типов креплений грунтовых откосов, отличающихся по конструкции и условиям работы: а) покрытия откосов или облицовки; б) многослойные подпорные стенки (рис. 2) [3].

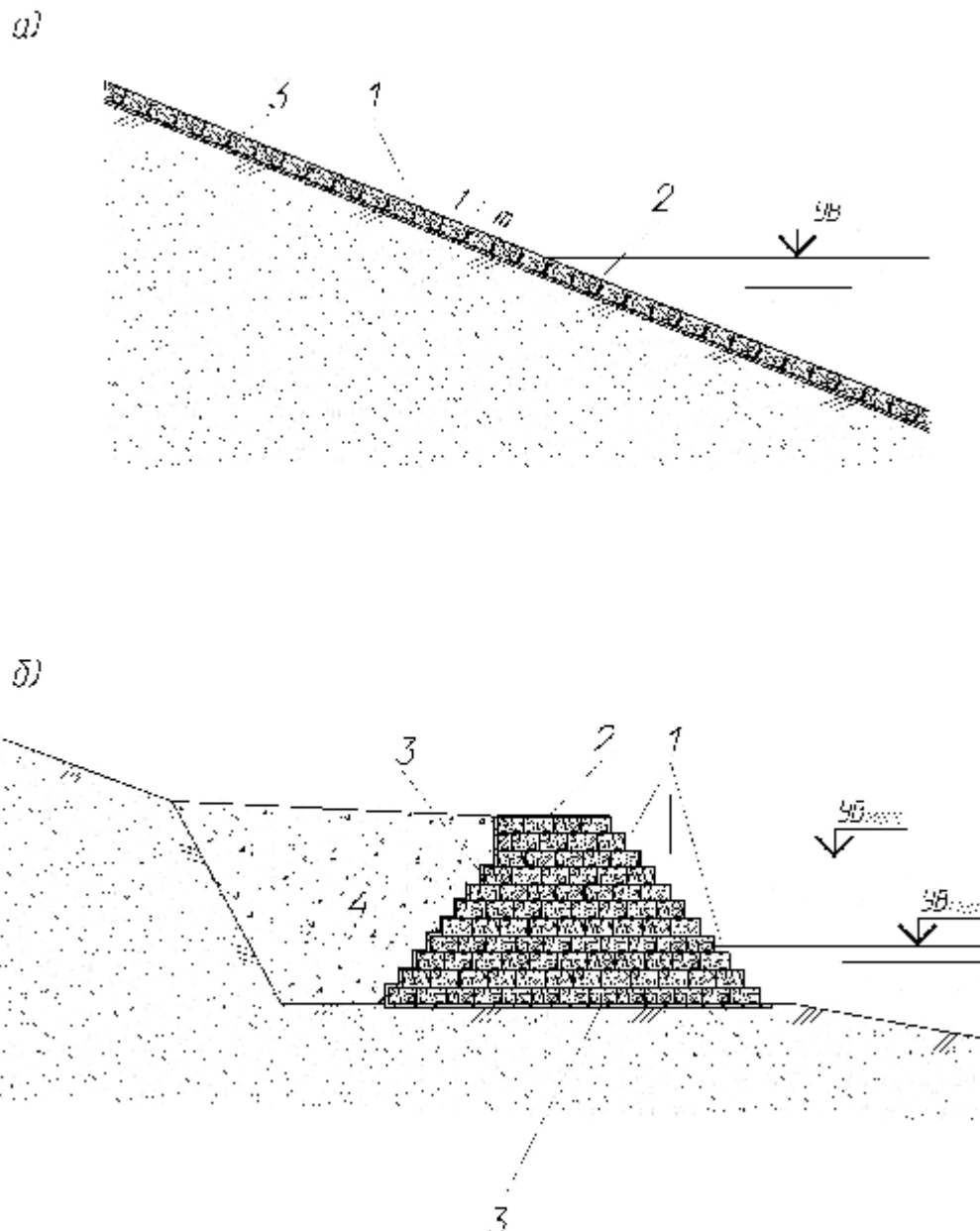


Рис.2. Схемы крепления грунтовых откосов гидротехнических сооружений ячеистыми полиэтиленовыми панелями с дисперсными заполнителями:

а) облицовка; б) многослойная стенка:

- 1) – ячеистая полиэтиленовая панель GEOWEB; 2) – дисперсный заполнитель;  
3) – геотекстильный обратный фильтр; 4) – засыпка пазух

К настоящему времени в ННГАСУ реализован комплекс исследований, направленных на выявление области применения креплений грунтовых откосов с использованием ячеистых полиэтиленовых панелей GEOWEB с дисперсными заполнителями. Исследования реализованы в следующем составе: 1) лабораторные гидравлические испытания крепления, 2) расчетные исследования восприятия креплением волновых нагрузок; 3) расчетная оценка восприятия креплением ледовых нагрузок; 4) выполнена оценка возможности применения геотекстильных материалов в качестве обратного фильтра под крепление; 5) выполнены расчетные исследования устойчивости крепления на грунтовых откосах.

В результате гидравлического исследования установлено, что применение панелей в креплении приводит к увеличению неразмывающей скорости на  $0\div 77,9\%$  по сравнению с неразмывающими скоростями для каменной наброски [4].

Исследованное крепление рекомендуется применять при расчетной высоте волн до  $0,7\div 0,9$  м. Эффективность присутствия панелей в креплении по высоте волн составляет  $16\div 26\%$  по сравнению с каменной наброской [4].

По условию допускаемых напряжений на нижней границе крепления от удара и навала ледяного поля и устойчивости его к истирающему действию льда, крепление можно применять при расчетной толщине льда  $0,25\div 1,5$  м [4].

По условию устойчивости крепления к воздействию примерзшего льда при изменении уровня воды наибольшую опасность представляет изменение уровня воды при толщине льда до  $0,5$  м, т.е. в период становления льда и нарастания глубины промерзания откоса, но не в период вскрытия водоема от льда, когда толщина льда и промерзание откоса достигают максимальных значений [4]. Наименьшей устойчивостью к восприятию нагрузки от примерзшего льда обладают крепления на откосах заложением  $m=2$ ,  $m=3$ ; на более пологих откосах крепление устойчиво к воздействию примерзшего льда при изменении уровня воды.

Геотекстильные материалы эффективны для использования в качестве обратных фильтров под крепление [4]. При этом, на откосах, подверженных действию ледовых нагрузок, нельзя допускать вымывание (разрушение) верхнего слоя заполнителя крепления, что может привести к продавливанию стенками панели геотекстильного материала.

В результате исследования устойчивости крепления против сползания по контакту с грунтом откоса выявлено следующее [4]: на песчаных откосах крепление устойчиво к сползанию при угле наклона их к горизонту  $30^0$  и положе, эффективность анкеровки панелей может достигать  $24\div 44,5\%$  для сухого откоса,  $15\div 39\%$  для подтопленного откоса; для откосов из глинистых грунтов крепление обладает большим запасом устойчивости ( $k_{уст}>2$ ), а эффективность анкеровки незначительна (до  $9\%$ ).

На базе проведённых исследований разработана программа «*Slope*» для автоматизации подбора крепления с помощью ЭВМ.

Натурные наблюдения за креплением, осуществляемые на ряде объектов с максимальным сроком эксплуатации 10 лет, свидетельствуют о его эксплуатационной надёжности [4].

Экономический анализ показал, что в современном уровне цен на полиэтиленовые панели, дисперсный наполнитель, геотекстильные материалы, крепление экономически эффективно при средней скорости водного потока более 2 м/с и высоте волн более 0,5 м [4].

На основании результатов исследований, а также с учетом опыта эксплуатации в натуральных условиях, разработаны рекомендации по проектированию креплений (в виде облицовок) откосов ячеистыми полиэтиленовыми панелями GEOWEB с дисперсными наполнителями.

#### Литература

1. Ежков, А.Н. Природоприближенное крепление грунтовых откосов / А.Н. Ежков // «Великие реки 2001»: Генеральные докл., тез. докл. Междунар. научн.-промышл. форум. - Н. Новгород: ННГАСУ, 2002. – С. 222-224.
2. Ежков, А.Н. Укрепление откосов ячеистыми полиэтиленовыми панелями с дисперсными наполнителями / А.Н. Ежков // Сб. трудов аспирантов и магистрантов. Технические науки. - Н. Новгород: ННГАСУ, 2002. – С. 77-79.
3. GEOWEB CELLULAR CONFINEMENT SYSTEM V-SERIES MATERIAL SPECIFICATION. --Presto Products Company, P.O. Box 2399, Appleton, Wisconsin, USA 54912-2399/
4. Ежков А.Н. Крепление грунтовых откосов ячеистыми полиэтиленовыми панелями с дисперсными наполнителями / Ежков А.Н., Соболев С.В. // Изв. ВУЗов Стр-во, - 2003. - №5. - С. 71-74.

УДК 626.8.624.071

## **ОБОСНОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЛЕГЧЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

Т.П. Кашарина, Д.В. Кашарин, А.М. Кореновский  
ФГОУ ВПО НГМА, оочеркасск, Россия

Эксплуатационная надежность работы облегченных гидротехнических сооружений (ГТС), включающая их безотказность и долговечность, зависит от уровня надежности составляющих элементов конструкции.

Рассматривая конструкцию облегченного ГТС с применением композитных материалов, как единое целое, можно сказать, что второстепенных элементов практически в ней нет, так как выход из строя хотя бы одного из них ведет к полной потере устойчивости всего сооружения.

На основании многолетних наблюдений за работой облегченных гидросооружений из композитных материалов, а также проведенных натуральных исследований, был выполнен анализ возможных отказов и построено дерево отказов (рис.1).

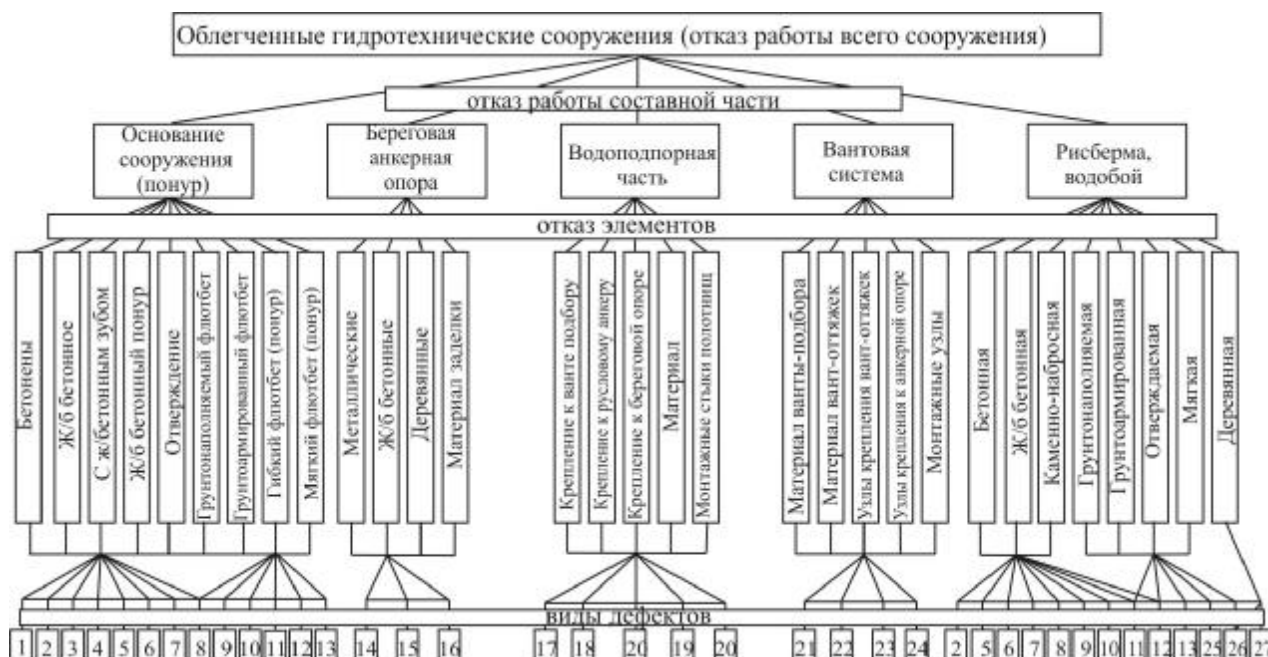


Рис. 1. Дерево отказов облегченных гидротехнических сооружений:

1-некачественные бетонные работы; 2-занижение параметров основания; 3-неправильное устройство опалубки; 4-осадка основания; 5-коррозия арматуры; 6-трещины; 7- разрушение облицовки; 8-размыв основания; 9-разрушение основания; 10-порывы, порезы; 11- сдвиг грунта -заполнителя; 12-обрыв армирующих элементов; 13-повреждение лицевой стенки; 14-смещение относительно проектного положения; 15-коррозия металлических анкеров; 16-потеря устойчивости анкеров; 17-порезы ткани водоподпорного полотнища; 18-разрыв швов; 19-отслоение металлокорда; 20-разрушение металлоконструкций руслового анкера; 21-смещение руслового анкера; 22- разрыв троса; 23-порезы троса; 24-механические повреждения; 25-трещины на болтовых соединениях, коушах; 26-фильтрация; 27-гниение

Отказы можно классифицировать по следующим признакам:

1. Причины возникновения: внешние отказы, вызванные недостатком конструкции (чрезвычайные ситуации природные или техногенные); внутренние отказы, вызванные недостаточно обоснованным конструктивным решением.

2. Появление их во времени: последовательные и медленнотекущие (медленно открепляющаяся ванта при повышении нагрузки во времени); внезапные (разрыв клеепрошивочного шва и множественный отрыв водоподпорного полотнища от гибкого флютбета или руслового анкера).

3. По отказам в течение срока эксплуатации: начальные повреждения (отслоение противофильтрационных обкладок); дефекты кратковременной или длительной работы конструкции (истирание материала оболочки).

4. В зависимости от изменения параметров и характеристик элементов конструкции: незначительные (увеличение длины ванты-подбора, что уменьшает создаваемый подпор в верхнем бьефе); значительные, приводящие к прекращению выполнения запроектированных функций (неправильная установка сооружения, возможность прохода воды в обход сооружения).

Систематизация основных видов и причин повреждаемости облегченных гидросооружений приведена в таблице 1.

Таблица 1. Виды и причины повреждений облегченных сооружений

Виды повреждений	Причины возникновения повреждений	Доля повреждений, %
Конструкторские дефекты	Необоснованная оценка выбранного створа;	10
	Неправильный подбор гидравлических параметров;	10
	Природные факторы, чрезвычайные ситуации. Антропогенные факторы (разрушение за счет повреждения резино-кордовых элементов плотины человеком) и т.п.	20
Технологические дефекты	Нарушение технологического процесса: не соблюдение требований проекта;	30
	Занижение глубины заложения основания (меньше глубина ж/б зуба и т.п.).	
	Некачественная поставка резино-тканевых комплектов; не выполнения правил и рекомендаций по монтажу понура, рисбермы, мембраны	
Эксплуатационные дефекты	Нарушения правил эксплуатации;	30
	Несвоевременный демонтаж резино-тканевых элементов сооружения;	
	Нарушение правил хранения;	
	Нарушение правил монтажа при повторной установке;	
	Просадка грунтового основания;	
	Деформация бетонных и ж/бетонных элементов конструкции	

Одним из важных факторов, влияющих на надежность работы облегченных гидросооружений является их долговечность. На современном этапе развития разработаны композитные материалы, которые не уступают по своим свойствам и долговечности традиционным и позволяют создавать рациональные формы конструкций, обеспечивая их работоспособность.

Длительная работа резино-тканевых и резино-кордовых материалов изменяет свойства упругости со временем при воздействии внешних факторов: солнечной радиации, химических элементов нефтеперерабатывающей промышленности и т.п. Срок службы некоторых композитных материалов достигает 50 лет.

Следует отметить, что химические волокна внутри резино-кордовых материалов проходят предварительное натяжение и специальную обработку. Резиновое покрытие следует выполнять с защитным слоем.

Оценку надежности работы облегченного сооружения можно давать в соответствии с требованиями, установленными в технических условиях на изготовление резино-тканевых (резино-кордовых или подобных) материалов и ме-

таллических узлов крепления, предусмотренных в типовом или рабочем проекте. При использовании расчетных методов контроля показателей надежности сооружения в целом определяют в соответствии установленным нормам:

$$R_p \geq R,$$

где  $R_p$ - расчетное значение показателя надежности,  $R$  – требуемое значение показателя надёжности.

Как показывает практика эксплуатации облегченных ГТС, необходимо вести контроль за своевременным устранением небольших дефектов и предусматривать автоматизацию режима работы подобных сооружений. Комплекс мероприятий по повышению эффективности работы облегченных гидросооружений представлен в таблице 2.

Таблица 2. Комплекс мероприятий по повышению эффективности и надёжности облегченных гидросооружений

Наименование мероприятия	Эффективность мероприятия	Нормативные документы
1	2	3
<b>1. Конструктивные мероприятия водоподпорных конструкций</b>		
Устройство грунтонаполняемого или грунто-армированного основания с использованием местных строительных материалов	Повышение устойчивости на сдвиг	Типовые проектные решения по облегчённым русловым плотинам ИНПЦ «Союзводпроект». Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации облегченных плотин с водовыпускными устройствами.
Устройство гибкого флютбета с водобойным колодцем	Снижение повреждаемости	Типовые проектные решения: «Мягкие водосливные плотины для малых водотоков».
	Повышение устойчивости работы сооружения	
Применение разборных узлов крепления	Возможность быстрой замены вышедших из строя анкеров, болтов, металлических закладных частей	Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации облегченных плотин с водовыпускными устройствами
Применение толсто-стенных или цельнозаполненных труб, брусев и устройство опорных точек	Обеспечение надежности работы береговых анкерных опор	Типовые проектные решения: «Мягкие водосливные плотины для малых водотоков»
1	2	3

Применение обрезиненных тонких тросов для вантовой системы	Облегчает эксплуатацию (вес уменьшается в 2-4 раза, снижается их коррозионность, а, следовательно, и улучшается эксплуатация при сезонной работе)	Технические условия изготовления резинотканевых полотнищ и резинотканевых плотин
Применение более высокопрочных материалов водоподпорных оболочек (однослойных и многослойных кордовых материалов, предварительно напряженных)	Обеспечение долговременной эксплуатации полотнища без его замены и снижение повреждаемости	Технические условия изготовления резинотканевых полотнищ облегченных плотин
Устройство регулирующих окон	Обеспечение регулирования уровнями бьефов	Типовые проектные решения «Мягкие водосливные плотины для малых водотоков»
<b>II. Технологические мероприятия</b>		
Правильность выбора створа сооружения	Обеспечение нормальной работы сооружения	Инструкция по выбору створа
Соблюдение правил строительства сооружений, в т. ч. гидрогеологических условий, последовательности производства работ и монтажа закладных частей	Обеспечение надежности работы сооружения в целом	Технологические карты возведения облегченных ГТС
Устройство водоподпорного полотнища из составных элементов	Обеспечение водонепроницаемости и исключение фильтрации	Технологические карты возведения облегченных ГТС. Технологические карты ПАРС
<b>III. Эксплуатационные мероприятия</b>		
Эксплуатационный (авторский) надзор и текущий ремонт гидросооружения (регистрировать в журнал все неисправности)	Повышение надежности работы	Технологические условия на изготовление полотнищ облегченных плотин
Контроль за повреждениями основания сооружения	Повышение надежности работы сооружения	Типовые проектные решения по облегченным русловым плотинам
1	2	3

Контроль за повреждением резиноканевых (кордовых) материалов водоподпорной оболочки, гибких понура и рисбермы	Проведение необходимых замен в конце или начале сезона поврежденных частей	Типовые проектные решения по облегченным русловым плотинам. Технические решения по подпорно-регулирующим аэрационным сооружениям (ПАРС)
Контроль за уровнем воды в верхнем бьефе	Повышение надежности работы всего сооружения в целом	Инструкция по выбору створа мембрано-вантовой плотины типа ПММ-Д-30/2 (ПММ-Д-20/2)

В дальнейшем по материалам исследований будут разработаны нормативные документы и методические указания для специалистов проектных, научно-исследовательских, эксплуатирующих организаций, а также для собственников гидросооружений, органов надзора, позволяющие выполнить прогноз надёжности элементов или всего облегченного гидротехнического сооружения в целом, а также его влияние на окружающую среду.

#### Литература

1. Пособие к СНиП 3.07.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения» (Обоснования эксплуатационной надежности облегченных гидротехнических сооружений) //ИНИПЦ «Союзводпроект», ЮжНИИГиМ.- М., 2001.
2. Кашарина Т.П., Кашарин Д.В. и др. Рекомендации по оценке эксплуатационной надежности безопасного состояния отдельно расположенных и мелиоративных гидротехнических сооружений. – Ростов – на Дону 2002 г., – 69 с.

УДК 627.83

## **НЕТРАДИЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГАСИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ВОДНОГО ПОТОКА**

Н.В.Лебедев, В.Ф. Проданов, И.В. Васьков  
ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, Россия

Бесперебойная и безаварийная работа водопропускных гидротехнических сооружений в большей степени обеспечивается работоспособностью нижнего бьефа, для обеспечения которой разрабатываются различные схемы, методы и конструкции гашения избыточной энергии потока.

Разработка совершенных энергогасящих конструкций в нижнем бьефе позволяет сократить строительную стоимость сооружений, увеличить срок службы, сократить эксплуатационные затраты, затраты на реконструкцию существующих гидротехнических сооружений, что является весьма актуальной задачей.

По современным воззрениям сущность гашения избыточной энергии потока в нижнем бьефе состоит в преобразовании структуры потока от высокотурбулентной (отношение пульсационной составляющей скорости к осредненной более 10%) до турбулентности потока в бытовых условиях.

Преобразование турбулентной структуры потока может быть осуществлено двумя различными способами.

Первый состоит в естественном снижении турбулентности до бытовой на некоторой длине вдоль потока, что влечет за собой усиление и длину крепления рисбермы. Это приводит к существенному увеличению стоимости сооружения. Кроме того, в случае изменения гидравлической работы сооружения (маневрирования затворами, аварийном заклинивании затвора и др.), возникающая при этом сбойность потока приводит к увеличению удельных нагрузок на отдельные участки рисбермы, подмыву отводящего русла, и как следствие, к увеличению эксплуатационных затрат на ремонт крепления и рисбермы.

Все вышеперечисленное заставляет даже для низконапорных водопропускных сооружений прибегать к устройству специальных энергогасящих конструкций в нижнем бьефе, применение которых и составляет суть второго способа.

В этом случае в поток вводятся различные механические препятствия в виде стенок (сплошных и прорезных), шашек, пирсов и др. Использование различных механических гасителей избыточной энергии потока позволяет сократить длину участка сопряжения, длину крепления в нижнем бьефе и как следствие, стоимость сооружения в целом.

К недостаткам известных механических гасителей относится невозможность регулирования степени их воздействия на поток, что бывает необходимо при изменении гидравлических параметров потока, особенно при работе сооружения в сложных условиях. Устранить указанный недостаток можно при воздействии на поток различными немеханическими способами (создание водовоздушных завес, ультразвуковыми воздействиями и др.) или их сочетанием с традиционными механическими. Дополнительные затраты, возникающие при организации нетрадиционного способа гашения энергии, компенсируется снижением эксплуатационных затрат на поддержание нижнего бьефа в работоспособном состоянии.

Во ВНИИГиМ разработаны способы и конструкции гасителей энергии, основанные на целенаправленном воздействии на турбулентную структуру потока и обладающие способностью изменения степени воздействия на поток.

Были проведены лабораторные исследования двух таких гасителей: водовоздушного и свайно-шашечного с подводом воздуха.

Принцип действия первого основан на создании в нижнем бьефе водовоздушной завесы, благодаря чему вихри крупных геометрических размеров с низкой частотой, образующиеся на водобое, особенно опасные с точки зрения устойчивости крепления, набегая на препятствие, дробятся на более мелкие с более высокой частотой, менее опасные для устойчивости этих же элементов крепления.

Во второй конструкции сохраняется этот же принцип действия, кроме того, энергогасящие свойства усиливаются за счет введения в поток механических препятствий в виде шашек и свай.

В обоих случаях существует возможность регулирования степени воздействия гасителей на поток путем уменьшения (до полного прекращения) или увеличения подачи воздуха.

Исследования проводились в лотке шириной 50 см, в котором установлена плотина в виде водослива с широким порогом высотой 40 см и длиной водобойной части 50 см. Вся ширина лотка на плотине перекрывалась плоским затвором. В нижнем бьефе на длине 5 м от отметки порога водослива дно отводящего русла формировалась из натурального песка со средним диаметром частиц  $d_{cp} = 0,36$  мм.

Исследования подразделялись на два раздела.

В первом разделе, посвященном исследованиям турбулентной структуры потока, проведено четыре серии опытов по девять в каждой. В качестве базы сравнения использовались результаты опытов с гладким водобоем. Остальные три серии проводились с гладким водобоем с подачей воздуха, со свайно-шашечными гасителями и со свайно-шашечными гасителями с подачей воздуха. Измерения мгновенных скоростей проводились шестью двухкомпонентными тензометрическими датчиками конструкции ВНИИГиМ в семи точках по глубине. В качестве регистрирующей аппаратуры использовался магнитограф Н067 с последующей обработкой опытных данных на анализаторе спектра, где предусмотрена возможность визуально получить форму энергетического спектра пульсационной составляющей скорости, который несет наибольшую информацию о структуре турбулентности потока. В данном случае исследования проводились на неразмываемой модели, что обеспечивалось покрытием dna отводящего русла цементной стяжкой.

Второй раздел был посвящен исследованиям размывающей способности потока в различных (вышеописанных) условиях гашения энергии. С этой целью цементная стяжка была удалена по всей длине, и поток непосредственно взаимодействовал с размываемым основанием. После стабилизации размыва величина воронки размыва измерялась шпиценмасштабами без остановки воды.

Анализ опытных данных позволяет сделать следующие выводы.

При гладком водобое, как и следовало ожидать, интенсивность нагрузки на датчики падает по мере их удаленности от водобоя и на всех датчиках растет от поверхности ко дну.

При подаче воздуха характер распределения спектральной плотности не меняется по длине, однако по глубине претерпевает существенные изменения. Если при гладком водобое интенсивность пульсации на частотах 1 – 10 Гц увеличивается от поверхности ко дну, то при подаче воздуха интенсивность пульсации на этих же частотах убывает от поверхности ко дну. Кроме того, подача воздуха позволяет снизить интенсивность нагрузок у dna на всех датчиках на пиковых частотах (1 – 2 Гц). Наиболее ярко эти изменения отмечаются на датчиках ближних к водобою.

Это свидетельствует об эффективности использования воздуха для трансформации спектра турбулентных пульсаций и защиты размываемого основания.

Свайно-шашечные гасители без подачи воздуха обладают таким же эффектом, как и водо-воздушные. В верхних слоях потока степень турбулентности повышается, в нижних – понижается, однако степень снижения турбулентности в нижних слоях несколько выше. Наиболее нагруженные частоты на всех глубинах от 1 до 5 Гц, а, начиная с частоты 10 Гц, энергонагрузка турбулентных пульсаций практически остается постоянной для всех датчиков и не зависит от глубины потока.

Использование свайно-шашечных гасителей с подачей воздуха еще более усиливает энергогасящий и трансформирующий эффект гасителей. Пиковые частоты на всех датчиках заметно повышаются. У дна, начиная с 5 Гц и выше, нагрузка на всех датчиках практически одинакова, а на удаленных от водобоя датчиках нагрузка одинакова и в диапазоне 1 – 5 Гц. К примеру, на датчике, ближнем к водобою, разница в энергетической нагрузке в диапазоне 1 – 5 Гц между гладким водобоем и свайно-шашечными гасителями с подачей воздуха достигает 200% и более, в диапазоне 5 – 10 Гц разница составляет 50 – 70% и лишь на частоте 10 Гц и выше снижается до 20%.

Из вышесказанного можно заключить, что наиболее эффективными из исследованных с точки зрения гашения энергии потока и трансформации спектра турбулентных пульсаций являются свайно-шашечные гасители с подачей воздуха. Водо-воздушные гасители также достаточно эффективны при определенных гидравлических режимах и могут быть с успехом применены для защиты оснований от размыва в низконапорных водопропускных сооружениях.

Одним из наиболее объективных показателей эффективности энергогасящих конструкций является величина местных размывов. По этому критерию наибольшую эффективность имеют свайно-шашечные гасители с подачей воздуха. Опытные данные показали, что относительная глубина воронки размыва  $\frac{h_{в.р.}}{h_0}$  снижается по сравнению с гладким водобоем в 1,5 – 2 раза и на 20 – 30% по сравнению со свайно-шашечными гасителями без подачи воздуха.

Таким образом, анализ результатов экспериментов позволяет сделать вывод о перспективности и эффективности использования метода целенаправленного изменения структуры турбулентного потока для гашения избыточной энергии. Кроме того, по результатам исследований была разработана конструкция свайно-шашечного гасителя с подачей воздуха, представленная на рисунке 1.

Для определения указанных на рис.1 параметров гасителя, как то – геометрических размеров шашек и свай в плане и по вертикали, планового размещения гасителя на водобое сооружения, диаметра воздухоподающих отверстий и др., были разработаны рекомендации, исходя из гидравлических характеристик потока и конструктивных особенностей сооружения.

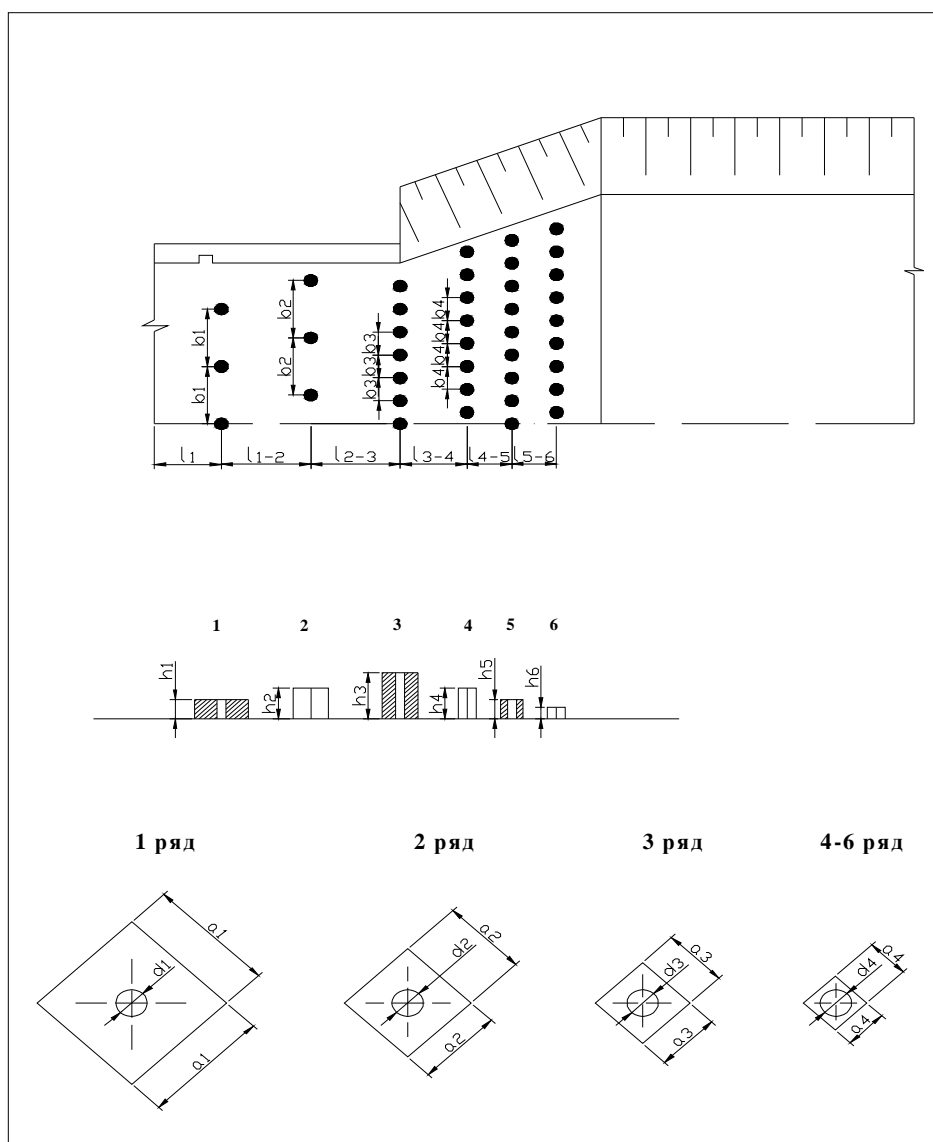


Рис.1. Конструкция свайно-шашечного гасителя с подачей воздуха

УДК 626.8

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРОТИВПАВОДКОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ЛУГОПАСТБИЩНЫХ УГОДИЙ

Т.В.Наумова

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, Россия

Практически на всех гидроузлах, перегораживающих русло реки несущих обильные донные наносы, создаются условия для интенсивного их осаждения в верхних бьефах. Причем на расстоянии, примерно равном ширине водосливного фронта, наблюдается образование острова, который со временем покрывается растительностью (кустарником, деревьями), что создает затруднения при пропуске высоких паводков и ухудшает условия подхода потока к водопропускным сооружениям. Создаваемый гидроузлами подпор вызывает переформи-

рование русловых участков, что вызывает блуждание потока, размыв берегов и мостов, затопление и подтопление пойменных массивов, а также может приводить к ухудшению санитарных условий района водотока.

Проводимые ВНИИГиМом исследования на гидроузлах бассейна р. Терек позволили разработать ряд противопаводковых мероприятий, по сокращению объемов заиления верхних бьефов и создания более благоприятные условия для пропуска паводковых расходов. Так проведение совместной очистки верхних бьефов гидроузлов (земснарядами, глубоких гидравлических промывок при снижении НПУ и частичных промывок без снижения НПУ при полном открытии одного-двух пролетов водосливной плотины) направлены на увеличение пропускной способности заиленных участков подводящего русла. При этом снижается вероятность прохождения паводков при повышенных горизонтах воды, приводящих к затоплению пойменных массивов.

Проведение данных противопаводковых мероприятий должны включаться в сценарные исследования по безаварийному пропуску паводков через гидроузлы на реках и водохранилищах. Для этого требуется не только оценка технических параметров проводимых мероприятий (сокращение объемов заиления), но и их экономическая эффективность.

Определение экономической эффективности проводимых противопаводковых мероприятий основывается на сопоставлении затрат на их осуществление с величиной ликвидируемого или предотвращенного ущерба.

Величина ликвидируемого или предотвращенного ущерба равна разности между расчетными величинами ущерба, который был бы в случае отказа от рассматриваемого мероприятия ( $Y_{отк.}$ ) и остаточного ущерба ( $Y_{ост.}$ ) после проведения противопаводкового мероприятия. Затраты на проведение противопаводковых мероприятий ( $Z_{п.п.м.}$ ) рассчитывается в соответствии с действующими нормативами.

Если  $Z_{п.п.м.} \leq Y$ , то проведение оцениваемого мероприятия считается экономически целесообразным и следует выбирать менее дорогостоящее, либо ликвидировать ущерб с меньшими затратами. В этом случае рассчитывается величина снижения потерь и формируется вариант с учетом проведения противопаводковых мероприятий.

Допуская, что при проведении противопаводковых мероприятий потери снижаются на величину  $\Delta\Pi$ , то по вновь сформулированному варианту рассчитываются все необходимые показатели для определения ущерба от изменившегося уровня потерь, т.е. оцениваются экономические последствия для сельскохозяйственных угодий.

Экономический эффект от проведения противопаводковых мероприятий определяется сопоставлением экономического ущерба по сформулированному варианту и ранее рассчитанному:

$$\Delta Y(\Pi) = Y_1(\Pi_1) - Y_2(\Pi_2);$$

где  $Y_1(\Pi_1)$  – экономический ущерб от потерь по варианту с большей величиной;  $Y_2(\Pi_2)$  – ущерб от потерь по варианту, предусматривающему проведение противопаводковых мероприятий.

Потери урожая сельскохозяйственных культур с пахотных угодий вследствие наводнений, могут быть определены из расчета ожидаемых потерь в результате паводка и грубой прикидкой разницы между себестоимостью и продажной ценой (прибыль). Однако для лугопастбищных угодий, даже в случае их дренирования, оказывается весьма затруднительным за короткий срок восстановить поголовье скота, чтобы сделать поправки в ущерб причиненном паводком. Поэтому в этом случае более приемлемым является отнесение причиненного паводком ущерба к альтернативным вариантам замены кормов в результате утраченного травостоя или силоса. Предлагается утраченный травостой выражать в терминах энергетической питательности кормов (ЭПК), тогда затраты на восстановление ущерба в денежных единицах могут быть выражены как:

$$Y = (\text{ЭПК} \cdot Z_{\text{в}}) + C;$$

Где  $Y$  – ущерб от паводка (руб/га); ЭПК – энергетическая питательность кормов (травостоя) теряемая из-за паводков (МДж/га);  $Z_{\text{в}}$  – затраты на возмещение кормов (руб/МДж) и  $C$  – дополнительные затраты, выражаемые (+) или (-) в зависимости от спасения определенного количества кормов (руб/га).

Оценка ущерба, наносимого паводками лугопастбищным угодьям в весенне-летний, период проводится в таблице 1 (цены 1983 г.). Наибольшие потери урожая происходят в ранний период сезона, когда наблюдается интенсивный рост травы. Наибольшие потери силоса происходят при его закладке в конце мая – начале июня.

Таблица 1. Оценка ущерба ( $Y$ ), наносимого паводками лугопастбищным угодьям, тыс.руб./га

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	декабрь
Пастбищная трава				99,2	86,9	76,5	70,2	57,7	41,6			
Силос				102,8	158,8	140,9	65,1	54,2	40,4			

Учет сезонности наносимого паводком ущерба может быть определен из следующей зависимости:

$$Y_{\text{с.в.}} = \sum_{m=1}^{m=12} Y_m P_m;$$

где  $Y_{\text{с.в.}}$  – сезонный средневзвешенный ущерб,  $Y_m$  - ущербы, подсчитанные по месяцам,  $P_m$  - вероятность паводка по месяцам.

Если риск паводка низкий и расходы в реке, ведущие к наводнению, ожидаются один раз в 5 лет или меньшей повторяемости риска двойного или более паводков, то в какой-то год определение средневзвешенного ущерба может быть проигнорировано.

Для более частых наводнений, ущерба, слагаемые из многократных паводков, должны определяться отдельно, т.к. потери из двухразовой повторяемости паводка в некотором сезоне могут быть не равны двойным потерям от обычного паводка. Например, за паводком, проходящим в мае, может следовать паводок, проходящий в июне, поэтому ущербы составляются как сумма двух проходящих паводков, взятых отдельно. Допуская, что суммарная вероятность двух проходящих паводков в данном порядке является результатом вероятности каждого паводка, т.е. паводки зависимы, то сезонный средневзвешенный ущерб от двух паводков в год может быть рассчитан по следующей зависимости:

$$Y_{с.в.} = \sum_{m1=12}^{m1=1} \sum_{m2=12}^{m2=1} Y_{m1,m2} P_{m1} P_{m2};$$

где  $Y_{m1,m2}$  – ущерб от паводка в месяце  $m1$  с последующим паводком в месяце  $m2$ ;  $P_{m1} P_{m2}$  - вероятности паводков в месяцах  $m1$  и  $m2$ .

В случае необходимости этот метод может быть распространен к комбинациям большего числа паводков.

Несмотря на то, что сезонные средневзвешенные потери оцениваются ущербом от обычного паводка, среднегодовые потери будут зависеть от ожидаемой повторяемости паводковых событий. Если имеются натурные наблюдения, средний интервал между паводковыми событиями ( $T_p$ ) может оцениваться из числа паводков, зарегистрированных при продолжительных рядах наблюдения. При отсутствии гидрологического ряда наблюдений, можно использовать данные по вероятностям среднегодовых расходов воды, включающие в себя события большей или одинаковой повторяемости, чем данная величина. Период повторяемости по данным ежегодных максимумов расходов воды не может быть определен меньше, чем 1 год.

Для паводковых событий высокой повторяемости, риск паводка в отдельные годы может вмещать два и более паводка. Годовая вероятность вмещает различное число событий, которые могут быть оценены по формуле Пуассона:

$$P_n = e^{-1/T_p} \left( \frac{1}{T_p} \right) \left( \frac{1}{n!} \right);$$

где  $P_n$  - вероятность года, вмещающего  $n$  паводков;  $T_p$  – период повторяемости для паводкового события.

Тогда среднеежегодные потери от паводка данного периода повторяемости могут оцениваться как сумма потерь из числа паводков годовой вероятности, включающие данное число паводков.

$$Y_{с.г.} = Y_1 P_1 + Y_2 P_2 + \dots + Y_n P_n;$$

где  $Y_{с.г.}$  - среднеежегодный ущерб от паводка;  $P_n$  - годовая вероятность включающая  $n$  паводков;  $Y_n$  - сезонный средневзвешенный ущерб от  $n$  паводков в году.

Для периода повторяемости более 5 лет, годовая вероятность паводков небольшая, поэтому может не учитываться (табл.2).

Таблица 2. Вероятности года, вмещающего от 1 до 4-х паводков в зависимости от периода повторяемости

Период повторяемости	Число паводков в году			
	1	2	3	4
2	0,303	0,076	0,013	0,002
5	0,164	0,016	0,001	
10	0,090	0,005		
20	0,048	0,001		
50	0,020			

Проведение противопаводковых мероприятий по промывке и расчистке верхних бьефов гидроузлов обеспечивает снижение вероятности прохождения паводков при повышенных горизонтах воды, приводящих к затоплению пойменных массивов. Поэтому увеличение площади поперечного сечения русла в створе влияния гидроузла можно соотнести с уровнями воды на данном участке и расходами воды определенной обеспеченности. По данным фактических замеров до и после проведения очистки от отложившихся наносов можно подсчитать объемы извлеченного грунта и произведенные затраты, а также дать прогноз ожидаемых горизонтов воды при прохождении паводков различной обеспеченности.

В таблице 3 дается оценка прохождения паводковых расходов на предгорном участке р. Терек (Моздокский район у с. Виноградное).

Таблица 3. Оценка прохождения паводковых расходов на предгорном участке р. Терек

	Очистка земснарядом	Глубокая гидравлическая промывка при снижении НПУ	Частичная промывка без снижения НПУ
Объемы очистки, тыс.м <sup>3</sup>	479	317	198
Отношение паводкового расхода к его обеспеченности после очистки, (м <sup>3</sup> /с)/%	$\frac{1328}{3,7}$	$\frac{1298}{4,6}$	$\frac{1220}{7,1}$
Отношение паводкового расхода к его обеспеченности до очистки, (м <sup>3</sup> /с)/%	$\frac{1210}{7,6}$	$\frac{1210}{7,6}$	$\frac{1210}{7,6}$

Из табл.3 видно, что наиболее радикальными мероприятиями по очистке верхних бьефов гидроузлов являются первые два варианта (очистка земснарядами и проведение глубоких гидравлических промывок). Третий вариант, частичная промывка без снижения горизонтов воды можно отнести к дополнительным мероприятиям. Сочетание указанных вариантов позволяет получить

более гибкие технологические решения, учитывая интересы различных участников водохозяйственного комплекса.

Оценка трех вариантов проведения противопаводковых мероприятий проводилась в зависимости от их влияния на снижение вероятности прохождения паводков при высоких отметках представлена в таблице 4.

Таблица 4. Оценка проведения противопаводковых мероприятий

Противопаводковые мероприятия	Затраты по мероприятиям ( $Z_{п.п.м}$ ), тыс. руб	Величина предотвращенного ущерба ( $У_{с.г}$ ) тыс. руб	Экономический эффект $\mathcal{E} = U_{с.г} - Z_{п.п.м}$ тыс. руб
Расчистка земснарядом	129,3	56,0	-73,3
Глубокая гидравлическая промывка	-	40,4	40,4
Частичная промывка	-	24,0	24,0

Как показывают приведенные в табл.4 данные, наиболее эффективным оказывается вариант проведения глубоких промывок при снижении НПУ. Однако, отсутствие оценки ущерба, наносимого рыбному хозяйству, т. глубокими промывками, оказывающие наибольший вред рыбному хозяйству, не позволяет сделать окончательный выбор.

Расчеты были проведены только по ущербам, наносимым паводком лугопастбищным угодьям, что безусловно является недостаточным при комплексной оценке проводимых мероприятий. В то же время предлагаемая методика является составной частью комплексной оценки и дает возможность более полно оценить предотвращаемый эффект в зависимости от периода повторяемости паводков и снижения их вероятности при проведении противопаводковых мероприятий.

#### Литература

1. Наумова Т.В. Мероприятия по сокращению заилению верхних бьефов гидроузлов. /Тезисы докладов Всероссийского конгресса работников водного хозяйства/. М: 2003, с.168.
2. Справочник по сенокосам и пастбищам – Россельхозиздат – М.: 1986, 334 с.
3. Hess T.M., Morris J. Estimating the value of flood alleviation on agricultural grassland.- Agricultural Water Management, № 15, 1988, p.p.141-153

УДК 627.1:532.543

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА В ЦЕЛЯХ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ НИЖНЕГО БЬЕФА ГИДРОСООРУЖЕНИЙ**

С.А. Сидорова

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, Россия

Одной из основных проблем надежности работы гидроузлов мелиоративного и комплексного назначения является обеспечение устойчивости крепления нижних бьефов водосбросных сооружений. Известны многочисленные данные

натурных обследований аварий гидроузлов с перечислением причин выхода их из рабочего состояния. Чаще всего по статистике аварии происходят из-за разрушения креплений нижних бьефов гидросооружений.

В подавляющем большинстве случаев неудовлетворительная работа сооружений вызвана деформациями и разрушениями конструкций нижнего бьефа (65% обследуемых сооружений) – бетонных креплений и грунтового основания под ним. Недостаточная прочность и пространственная жесткость конструкций креплений нижнего бьефа сооружений, неудачно назначенная толщина плит креплений для заданных гидравлических условий работы, недостаточная длина водобоев и рисберм, статические или квазистатические методы расчета плит креплений являются серьезными причинами деформаций. Происходит раскрытие швов между сборными элементами креплений, вынос грунта из швов и из-под плит, что в свою очередь приводит к их неравномерным осадкам и потере устойчивости в горизонтальном положении (приподнимается один край плиты, опускается противоположный и возникает крутящий опрокидывающий момент от нагрузки). В результате, плиты креплений выходят из состояния расчетного равновесия. Появление дополнительных горизонтальных сил и опрокидывающих моментов в совокупности с пульсацией скоростей и давлений, как над плитой, так и в области под плитой приводит к отрыву плит креплений и смещению их вниз по течению, то есть частичному или полному разрушению крепления дна в нижнем бьефе.

По результатам обследований водопропускных сооружений водохранилищных гидроузлов Московской области имеются данные о деформациях и разрушениях плит креплений из-за ряда недостатков конструкций, нарушения швов и стыков между элементами сборного крепления. На гидроузле Мальпансо после нескольких маловодных лет при пропуске через водосброс расхода 29% расчетного было взломано дно водобойного колодца. Причем масса сорванных бетонных плит составляла 720 тонн. Причина разрушения дна колодца заключалась в воздействии пульсационной нагрузки (гидравлический прыжок в колодце был затоплен). На гидроузле Таксоркана произошло падение отдельной стенки в водобойном колодце длиной 6,0метров, толщиной 1,25метров и высотой 10,7метров.

Аварии нижних бьефов водосбросных сооружений происходят не только в тех случаях, когда условия эксплуатации по каким-либо причинам резко расходятся с проектными условиями. Разрушения плит крепления наблюдаются и в тех случаях, когда условия эксплуатации удовлетворительные. Главная причина разрушений конструкций водобоя и рисбермы кроется в воздействии динамической пульсирующей нагрузки на плиты крепления от водного потока над ними и проникающей под них. Существующие методы расчета конструкций крепления нижних бьефов предусматривают большие коэффициенты запаса, что значительно утяжеляет плиты крепления, тем не менее, не дают надежной гарантии устойчивости дорогостоящей части гидросооружений.

Основным направлением в совершенствовании методов расчета плит креплений является учет динамического характера их взаимодействия со средой, в которой им приходится работать - водой. Непостоянство гидравлических ре-

жимов работы сооружений, работа без подтопления в нижнем бьефе вызывает нежелательные формы сопряжения, такие как отогнанный прыжок, прыжково-волна с неравномерным распределением скоростей и значительной пульсацией давления. То есть создаются условия повышенной турбулентности скоростного потока, проявлением которой являются динамические пульсационные нагрузки. Устойчивость плит крепления в условиях работы нижнего бьефа начинает зависеть от величины экстремального выброса гидродинамической нагрузки на плиты. Максимальная гидродинамическая нагрузка на плиты крепления и наилучшие условия устойчивости крепления могут возникать в нормальных условиях эксплуатации при пропуске расходов более чем через два полностью открытых затвора водосбросов расположенных рядом и нормально подпертом уровне (НПУ).

Основной расчетной характеристикой гидродинамического воздействия потока является вертикальная составляющая гидродинамической нагрузки. Действующая горизонтальная сдвигающая составляющая гидродинамической нагрузки при отсутствии гасителей энергии незначительна и в расчетах не учитывается. Определяются все необходимые статистические характеристики процесса пульсации давлений. Вычисляются математическое ожидание нагрузки  $M_p$ ; стандарт пульсации нагрузки  $\sigma_p$ ; нормированная автокорреляционная функция  $R(\tau)$  и  $R(\tau) = 1$  при  $\tau = 0$  ( $\tau$  - время); нормированная спектральная плотность  $S(P)$ , как преобразование Фурье от нормированной корреляционной функции; спектральная функция  $S(\omega)$ , равная интегралу от спектральной плотности. Для получения сглаженной спектральной плотности, автокорреляционная функция умножается на корреляционное окно Хемминга. Вопрос осреднения пульсирующих нагрузок по площади плит крепления является достаточно сложным. Известно, что эффект осреднения сказывается в уменьшении дисперсии удельной нагрузки на одну треть от  $[R(0) - R(\tau_n)]$  для турбулентности в плоской задаче, когда автокорреляционная функция  $R(\tau)$  в диапазоне  $0 \leq \tau \leq \tau_n$ , где  $\tau_n$  - время прохождения возмущения над плитой, может быть аппроксимирована прямой. Основной частотной статистической характеристикой пульсирующей нагрузки ( $P'$ ) является ее ведущая частота ( $\omega_{вн}$ ). Преобладающие (или ведущие) частоты зависят от источника возникновения и изменяются от 0,05...0,5 Гц для волновых колебаний и до десятков Гц для турбулентной пульсации потока. На рисунке 1 приведен частотный спектр пульсации нагрузки, действующий на плиту крепления в условиях водобоя. Ведущая частота нагрузки определяется по первому локальному пику.

При расчетах плит креплений водобоев и рисберм на устойчивость рассматриваются условия, при которых не допускаются следующие перемещения: вертикальный подъем плиты, поворот относительно верхней или нижней грани плиты, горизонтальный сдвиг по поверхности грунта основания. Устойчивость плит крепления к перемещениям обеспечивается выполнением условия предельного равновесия конструкции под действием осредненных во времени ( $\bar{P}$ ) и пульсирующих нагрузок ( $P'$ ). В традиционных методах под «расчетной пульсирующей нагрузкой» на плиты понимается наибольший однократный

выброс, величиной 4...5 среднеквадратичных отклонений ( $\sigma_p$ ) от среднего значения нагрузки во времени.

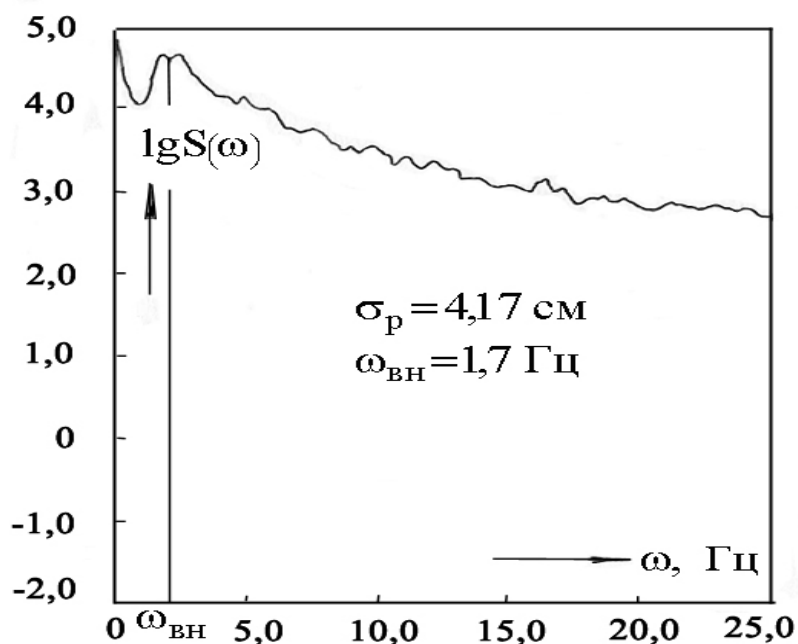


Рис.1 Частотный спектр случайного процесса  $P(t)$

Возможность рассмотрения и изменения подхода к выбору «расчетной пульсирующей нагрузки» с заведомо значительной величиной запаса, закладываемой при расчетах плит, обосновывается следующими рассуждениями. В спектре пульсации суммарной нагрузки выделены два характерных сплошных диапазона: короткопериодный (от 0,15...0,20 до 5...7 секунд), связанный с турбулентностью и волновыми колебаниями; длиннопериодный (от 7...10 до 20...30 секунд), связанный с локальными колебаниями уровня. Время действия импульса (выброса) нагрузки очень мало по сравнению со временем, которое понадобится плите крепления для перемещения до всплытия. Это происходит благодаря значительной инерционности системы «вода-плита-основание». Плита крепления может переместиться за это время действия импульса, на незначительное расстояние, преодолевая инерционные силы и по окончании действия импульса вернуться к прежнему состоянию. То есть плита крепления может колебаться под действием пульсационной нагрузки, но потери устойчивости, в данном случае всплытия не происходит. Таким образом, если мы имеем прогноз возможных перемещений плиты крепления  $z(t)$  под действием пульсирующей нагрузки, можно говорить об уточнениях при назначении расчетной нагрузки в расчетах плит креплений. Однако здесь требуется переход от квазистатической постановки задачи к динамической постановке. При этом уточняются коэффициенты, принимаемые в запас устойчивости.

Одним из основных направлений в повышении надежности работы креплений нижних бьефов в целях обеспечения безопасности работы гидросооружений представляется совершенствование методов их расчета. А это наиболее полный учет особенностей динамического взаимодействия плит крепления с потоком и основанием. При этом проблема возникает и при определении поня-

тия устойчивости и, как следствие, выборе расчетной схемы. Существуют два характерных понятия устойчивости плит креплений при выборе расчетной схемы:

- непрерывный контакт плит крепления с основанием, нагрузки приложены квазистатические; потеря устойчивости возникает при нарушении контакта плиты с основанием. Прогноз поведения плиты после наступления этого момента не рассматривается;
- допустимое перемещение плит крепления относительно основания, учитывается динамический характер нагрузки; потеря устойчивости возникает при перемещении на величину, превышающую допустимую. Прогноз перемещений плиты после потери устойчивости не рассматривается.

Эти расчетные методы на базе выбора таких расчетных схем ограничены рамками наступления заранее выбранных моментов, тогда как в условиях эксплуатации плит крепления они могут наступать не единожды без реальной потери устойчивости. Продвинувшись дальше и рассматривая дальнейший процесс перемещения плит креплений под воздействием гидродинамической нагрузки, можно приблизиться к реальным условиям работы плит и, соответственно, потере устойчивости. Реализация нагрузки и перемещения приведены на рисунке 2.

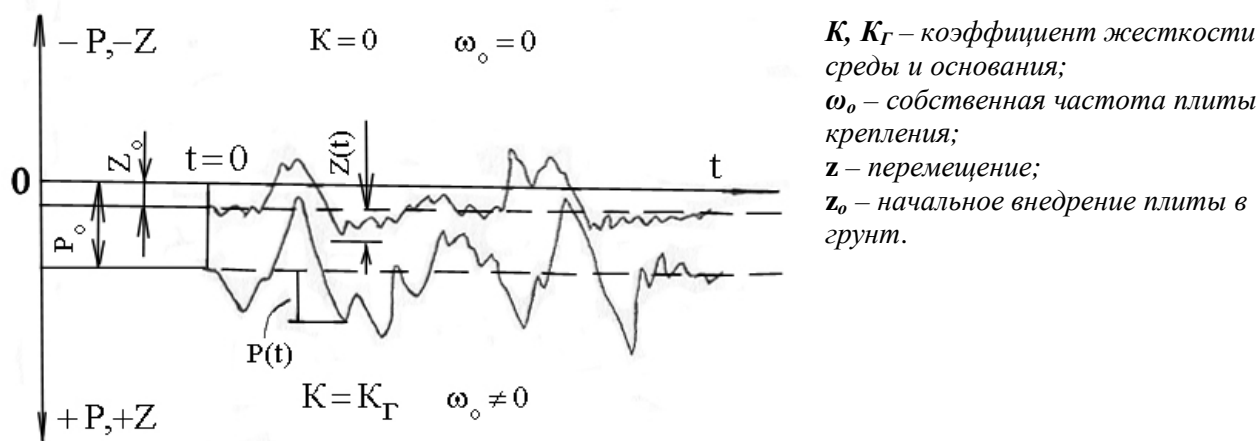


Рис. 2 Реализация нагрузки и перемещения

При прогнозировании возможных перемещений плит  $z(t)$ , основным характеризующим параметром устойчивости крепления, является математическое ожидание перемещения  $M_z$ . Принимается следующее условие устойчивости: если под действием гидродинамической нагрузки плита колеблется, однако математическое ожидание ее положения за период ( $T$ ) действия нагрузки равно нулю, то плита считается устойчивой.

$$M_z = \frac{1}{T} \int_0^T z(t) dt = 0 \quad (1)$$

В конкретных условиях это значит, что плита крепления или внедряется в основание на определенную глубину в зависимости от жесткости основания или отрывается от него. Однако среднее по времени положение плиты совпадает с расчетной границей грунта основания, то есть с границей принятой как со-

ответствующая состоянию покоя. При динамической постановке задачи рассматривается условие мгновенного равновесия плиты крепления под воздействием гидродинамической нагрузки. Это выражение может быть представлено в виде формулы (2).

$$G_{пл} \geq \bar{P} + K_{дн} \sigma_p \quad (2)$$

В формуле (2)  $G_{пл}$  - вес плиты крепления;  $\bar{P}$  - осредненная вертикальная составляющая нагрузки;  $K_{дн}$  - коэффициент динамичности системы, зависящий от массы плиты (учитывая массу воды, присоединенную к плите сверху и снизу), жесткости грунтового основания  $K_r$  и основных динамических параметров системы (собственная частота колебаний плиты  $\omega_o$ , коэффициент свободных затуханий плиты  $\theta$ , ведущая частота нагрузки  $\omega_{вн}$ );  $\sigma_p$  - стандарт пульсации суммарной гидродинамической нагрузки на плиту. Пример расчета коэффициента динамичности, при распределении вероятности пульсаций по закону, близкому к нормальному и значении стандарта пульсации нагрузки  $\sigma_p = 4,17$  см водяного столба, представлен на рисунке 3.

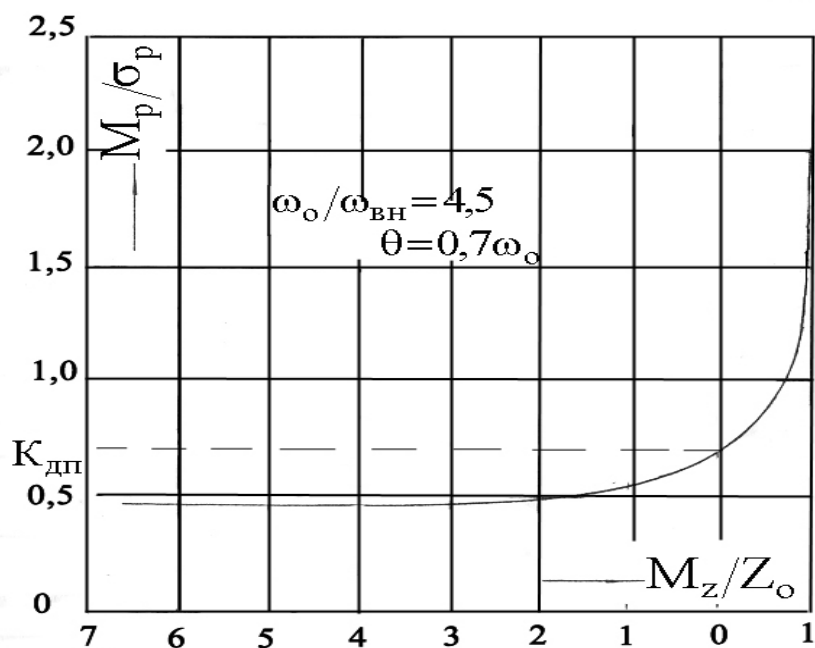


Рис.3 Результаты динамического расчета

Расчет толщины плит крепления, обеспечивающий динамическую устойчивость проводится в следующей последовательности:

- оценивается жесткость основания и собственные частоты колебаний плиты на грунте основания;
- определяются или назначаются статистические характеристики пульсации нагрузок на плиту крепления;
- определяется коэффициент динамичности;
- определяется толщина плиты.

Такой подход к решению проблем безопасности в работе нижних бьефов гидросооружений дает возможность рассчитать плиты крепления водобоя и

рисберм, сохраняющих устойчивость под действием динамических нагрузок при донных режимах сопряжения бьефов. При этом резко снижается вероятность возникновения аварийных ситуаций на гидроузлах.

УДК 556.536, 631.6

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ЧАСТИ БОКОВОЙ ПРИТОЧНОСТИ К ВОДНОМУ ОБЪЕКТУ**

М. В. Трошина

ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, Россия

Определение уровня, расходного и скоростного режимов в русле реки, на основе известных данных (морфологии, объемов притоков и т. д.) принято называть прямой гидрологической задачей.

В современных условиях решение прямой гидрологической задачи существенно упростилось, когда представилась возможность применения гидродинамического компьютерного моделирования. Появились различные программные комплексы - MIKE11, HEC-RAS и др., позволяющие выполнять сложные гидравлические расчеты [1,2].

Использование математических моделей стало и продолжает оставаться наиболее действенным средством при исследованиях водных объектов и решении вопросов проектирования и управления водными ресурсами. Математические модели имеют большие возможности и как инструменты исследований проблем окружающей среды, и как прикладные инструменты при выборе стратегий управления.

Один раз разработанная для конкретного водного объекта и откалиброванная по натурным данным модель позволяет в дальнейшем решать в оперативном режиме различные гидродинамические задачи.

В настоящее время в России значительно усложнился процесс получения данных наблюдений о водном объекте. Причиной является сокращение числа пунктов наблюдений – водопостов, а также то, что на многих существующих постах теперь наблюдается только уровень режим.

Уточнение гидрологических характеристик водотока по данным наблюдений и, в частности, определение боковой приточности, принято называть обратной гидрологической задачей.

Как показывают многолетние наблюдения, объем боковой приточности в половодье на рассматриваемом участке реки может составлять значительную величину. А поскольку расходы гидроузлов рассчитываются исходя из прогнозов различной обеспеченности, то отсутствие информации о боковой приточности может привести к существенным ошибкам в оперативном управлении пропуском паводковых вод. В такой постановке необходимость решения обратной гидрологической задачи является очевидной.

В рамках обратной гидрологической задачи в данном случае понимается определение возможной неучтенной боковой приточности по наблюдаемым су-

точным уровневым режимам на водопостах, сбросным расходам на граничных гидроузлах. Гидродинамическая модель водного объекта дает возможность в оперативном режиме скорректировать ретроспективную часть боковой приточности.

Решение обратной гидрологической задачи рассмотрено на примере участка р. Волга между Горьковским и Чебоксарским гидроузлами, который имеет протяженность 338 км [4]. На этом участке, со временем добегающим порядка 3-х суток и менее, уточнение боковой приточности с опозданием 6 часов (интервал наблюдений на водопостах) имеет существенное значение для управления пропуском с Чебоксарского гидроузла. Основную водозаборную площадь, формирующую боковую приточность, составляют бассейны рек Ока, Сура и Ветлуга. Кроме этих крупных притоков на рассматриваемом участке в реку впадает около 15 менее значительных притоков. На рисунке 1 показана схема рассматриваемого участка с указанием поперечников.



Рис. 1. Схема размещения поперечников по р. Волга на участке от Нижегородского до Чебоксарского гидроузлов

На первом этапе решения обратной задачи была разработана компьютерная гидродинамическая модель данного участка в среде MIKE 11 Датского гидравлического института. Модель реки представляла собой набор взаимосвязанных баз данных с исходной информацией по плановому расположению речной сети, поперечникам, гидрографам заборов и сбросов воды, граничным и начальным условиям. Специальный обрабатывающий HD-модуль программы позволил при помощи численного решения уравнений Сен-Венана определить в динамике расходы, уровни и другие необходимые параметры по всему бьефу [3]. Созданная модель была с большой точностью откалибрована по многолет-

ним рядом наблюдений и после этого превратилась в инструмент для решения обратной гидрологической задачи.

На рисунке 2 показана кривая свободной поверхности Чебоксарского бьефа, построенная с помощью гидродинамической модели.

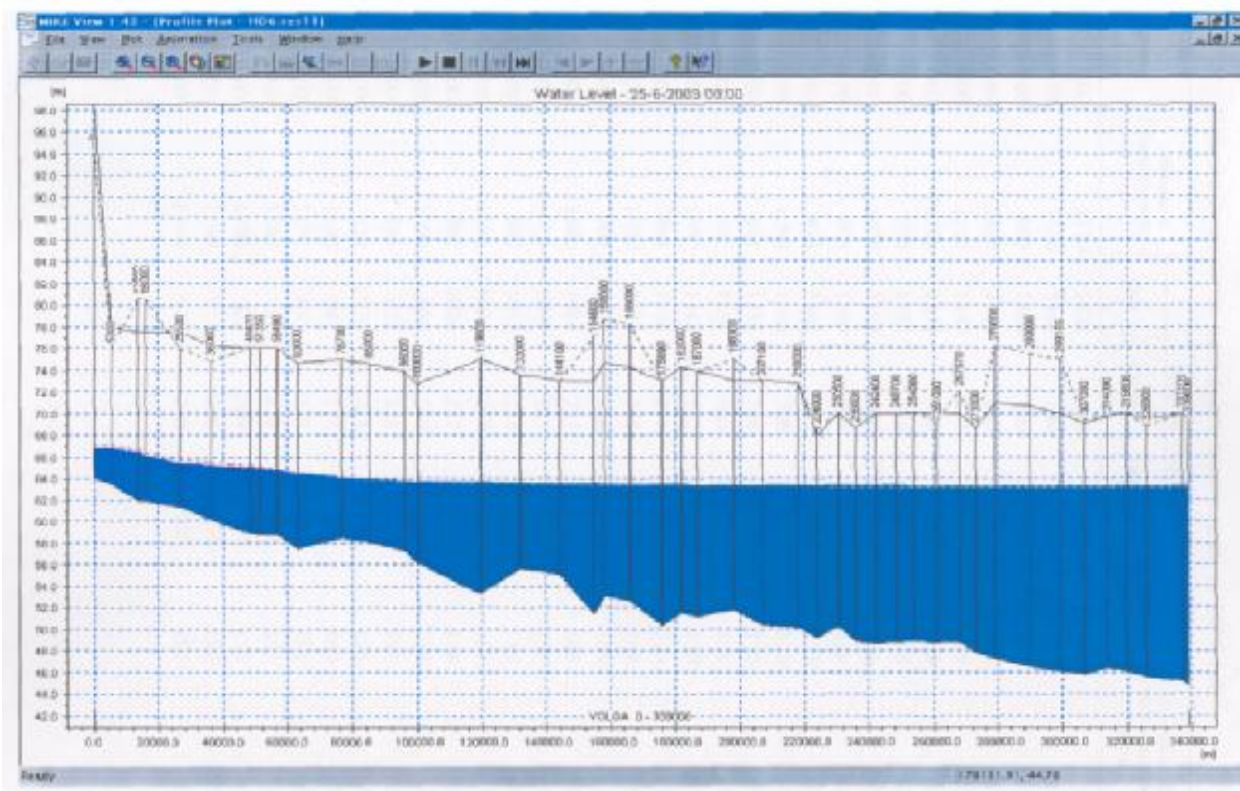


Рис.2. Кривая свободной поверхности Чебоксарского бьефа

На втором этапе гидродинамическая модель использовалась для уточнения боковой приточности к реке. Расчет заключался в последовательном задании данных прогнозной приточности и дальнейшем расчете по модели уровней на водопостах для заданного момента времени. Затем рассчитанные уровни сравнивались с наблюдаемыми и в случае несовпадения приточность корректировалась в сторону увеличения или уменьшения. Этот процесс многократно повторялся до тех пор, пока расхождения наблюдаемых и расчетных уровней на водопостах не стали меньше некоторой величины, характеризующей точность расчетов. На рисунке 3 показаны прогнозная и расчетная боковые приточности.

На основе полученных результатов при наличии гидродинамической модели был воссоздан гидрограф боковой приточности, позволяющий использовать его при прогнозировании объема боковой приточности, а также для оценки общей гидрологической обстановки на реке, особенно во время пропуска дождей и весенних паводков.

Выполненные расчеты зафиксировали общее увеличение стока половодья в Чебоксарском створе на 3-5% (согласуется с данными годового баланса) и дали обоснования для корректировки суточных сбросных расходов Чебоксарского гидроузла.

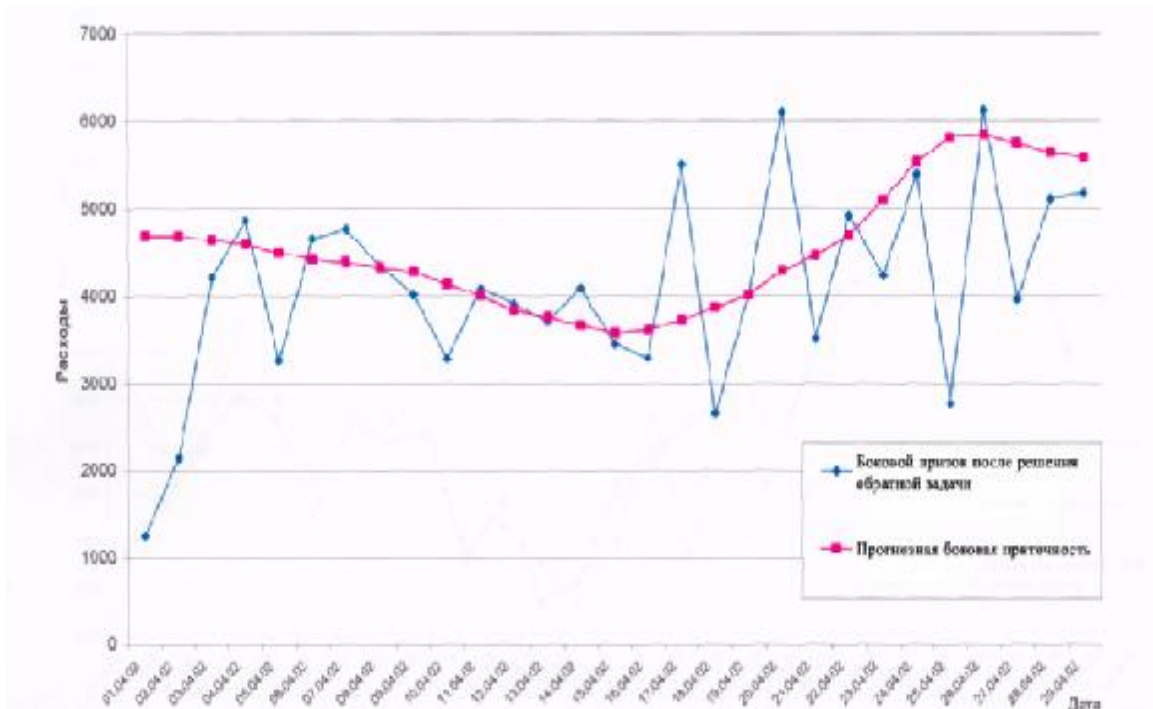


Рис.3. Гидрографы боковой приточности на участке р. Волги между Горьковским и Чебоксарским гидроузлами

#### Литература

1. MIKE 11 моделирование систем для рек и каналов. Руководство пользователя. Датский гидравлический институт – 2003 г.
2. MIKE 11 a modeling system for the rivers and channels. User guide. DHI Software.
3. Бубер А. Л., Ремизова Ю. А. Использование программ семейства MIKE 11 для моделирования гидродинамических процессов и качества воды в речных системах. Материалы Второй научно-практической конференции, Сыктывкар. 2003, стр. 37
4. Научно-технический отчет «Рекомендации по определению ретроспективной части боковой приточности весеннего половодья на основе имитационной компьютерной модели и фактически имевших место режимов работы гидроузлов 9 на примере Чебоксарского водохранилища», ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, Москва, 2003 г.

УДК 626.812:502.65

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ

А.С. Шевлакова, Ю.Н. Авдоница

"Южводпроект", филиал ФГУ "Ростовмелиоводхоз", Ростов-на-Дону, Россия

На основании Водного Кодекса РФ, Федерального закона "Об охране окружающей среды", постановления Правительства РФ об утверждении положения о водоохранных зонах – водных объектов и их прибрежных защитных полосах, Федеральной целевой программой "Юг России" необходимо обеспечить охрану рек являющихся неотъемлемой частью ее национальной безопасности, экономического и социального развития, а также неразрывно с проблемами природопользования и охраны окружающей среды.

"Всемирная стратегия охраны природы" определяет охрану природной среды как составную часть рационального природопользования, обеспечивающего сохранение и использование природных ресурсов в перспективе. В отношении к водным ресурсам – это рациональное водопользование, которое направлено на удовлетворение потребностей людей в воде необходимого качества и в необходимых количествах, а также на сохранение водных объектов как фактора формирования здоровой среды обитания человека и экологически полноценных водных ресурсов.

Анализ информации о качестве воды и состоянии экосистем водных объектов РФ на ее освоенной территории показывает, что большая их часть сегодня не способна выполнять свою основную функцию – поддерживать сформировавшееся в результате длительной эволюции биологическое разнообразие и равновесие. Сложилась парадоксальная ситуация: несмотря на огромные запасы водных ресурсов, Россия оказалась в тяжелой ситуации по водообеспечению населения и народного хозяйства водой необходимого качества и в необходимом количестве.

Являясь составной частью природы, вода служит не только средством или орудием производства, но и источником жизни и средой обитания многих видов растений, животных и организмов. Всякая деятельность человека, направленная на использование водных ресурсов, оказывает как прямое, так и опосредованное воздействие на экосистему водоисточников.

Отсутствие экологического нормирования (или ограничение) при использовании водосбора привело к ситуации, характеризуемой понятием "деградировавший водосбор".

Все загрязняющие вещества, поступающие в водные объекты или продуцируемые ими, являются продуктом вполне определенных источников загрязнения, которые условно можно разделить на два класса:

1. Образовавшиеся в результате технологической деятельности и процессов жизнедеятельности человека;
2. Созданные для обеспечения технологий и населения необходимым количеством воды.

Наиболее благоприятным для выноса загрязняющих веществ является сезон весны. В период половодья при таянии снега быстро формируется склоновый талый сток, который интенсивно смывает вещества одновременно с большой территории водосбора.

Многолетние комплексные исследования в бассейне р. Дон (нижнее течение) и в восточной части Таганрогского залива, в задачу которых входит получение систематической информации о состоянии основных элементов экосистемы (вода, донные отложения, промысловые рыбы), выявили экологически неблагоприятные зоны Азово-Донского района в пределах Ростовской области.

В элементах экосистемы контролируют содержание следующих приоритетных показателей:

- в воде – биогенные вещества, компоненты нефтяного загрязнения, пестициды, полихлорбинефилы, тяжелые металлы, мышьяк;

- в донных отложениях – компоненты нефтяного загрязнения, хлорорганические пестициды, полихлорбинефилы, тяжелые металлы, мышьяк;

- в органах и тканях промысловых рыб – хлорорганические пестициды, тяжелые металлы.

В отдельные периоды в одном из показателей экосистемы фиксируется повышенное содержание загрязняющих веществ. Поэтому для улучшения экологической ситуации в бассейнах рек необходимо разработать ряд мероприятий:

- предотвращение вредных и нежелательных последствий антропогенной нагрузки на водные бассейны;

- проведение региональной водохозяйственной политики, которая должна быть увязана с количественным и качественным состоянием водных ресурсов, а также с использованием их основными водопользователями;

- выделение и отмежевание по всему бассейну рек водоохранных зон и прибрежных полос – этому должно уделяться особое внимание;

- проведение рекультивации рек по всему руслу с последующим использованием регулирующих сооружений, обеспечивающих водохозяйственный баланс рек в течение всего года на основании прилагаемых вариантов водохозяйственных схем и их балансов;

- ведение экологического мониторинга за русловым процессом и техническим состоянием сооружений согласно безопасности сооружений;

- принятие мероприятий по обустройству и рекультивированию рек вести с согласованием их с органами природоохранного комитета и общественных организаций.

Вокруг большинства водных объектов перед водоохранными зонами береговых участков, ниже среднего меженного уровня воды размещается естественная или созданная тростниковая зона, находящаяся в затоплении большую часть года, но периодически подсыхающая.

Растущие здесь ценозы болотной растительности не только закрепляют берег своими корнями, но и смягчают ударное воздействие волн и сокращают подмывающую энергию течений. Эти ценозы участвуют также в процессах самоочистки водных объектов.

В качестве технических решений по ренатурированию малых водотоков можно рассматривать такие устройства, как отражатели потока, облегченные русловые плотины (с водовыпускными устройствами), подпорно – аэрационные регулирующие сооружения (ПАРС), каскадные ПАРС.

Отражатели потока успешно служат улучшению среды обитания рыбы и применяются в различных целях, например, для углубления и сужения русла, защиты берегов водотока от эрозии, стимулирования развития прибрежной растительности путем создания иловых отмелей и др. Они могут сооружаться из самых различных материалов, пригодны для использования на водотоках разных параметров, их легко сочетать с другими устройствами.

Облегченные русловые плотины используются в различных климатических зонах нашей страны при создании подпора в меженный период и улучше-