

Российский государственный аграрный университет –  
МСХА имени К.А. Тимирязева

Министерства сельского хозяйства Российской Федерации

*Посвящается 150-летию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,  
памяти Н.И. Железнова – первого ректора Петровской  
земледельческой и лесной академии*

## **Проблемы управления водными и земельными ресурсами**

Материалы Международного научного форума, Москва,  
30 сентября 2015 г.

Часть 3

Москва  
Издательство РГАУ-МСХА  
2015

УДК 504.4.062.2

ББК 20.1

ПЗ1

*Редакционная коллегия*

д.т.н., проф. Д.В. Козлов (гл. редактор);

к.т.н., доцент А.С. Апатенко;

д.т.н., проф. Г.Х. Исмайылов;

к.т.н., проф. Л.Д. Раткович;

д.т.н., проф. В.В. Пчелкин;

д.т.н., проф. Ю.И. Сухарев;

д.т.н., проф. Н.В. Ханов;

д.т.н., проф. В.Я. Жарницкий.

**Проблемы управления водными и земельными ресурсами.**

Материалы Международного научного форума. В 3-х ч. Кн. 3. Москва, 2015 г. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 278 с.

В сборнике представлены материалы Международного научного форума «Проблемы управления водными и земельными ресурсами», прошедшего в Москве 30 сентября 2015 г. и организованного Российским государственным аграрным университетом – МСХА имени К.А. Тимирязева.

В материалах научного форума представлены результаты исследований по обеспечению водными ресурсами устойчивого социально-экономического развития Российской Федерации; мониторингу, восстановлению и экологической реабилитации водных объектов; управлению земельными ресурсами; проблемам сохранения и восстановления плодородия почв, развитию мелиорации сельскохозяйственных земель в нашей стране, а также безопасности гидротехнических сооружений и предупреждению чрезвычайных ситуаций на водных объектах.

Предназначено для преподавателей и научных сотрудников, аспирантов и студентов вузов, а также специалистов агропромышленного и водохозяйственного комплексов.

ISBN 978-5-9675-1299-5

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
имени К.А.Тимирязева, 2015

**О ВЛИЯНИИ ГРУНТА – ЗАПОЛНИТЕЛЯ  
НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ДЕФОРМАЦИИ  
ПРИ ИЗГИБЕ ЯЧЕИСТОЙ КОНСТРУКЦИИ  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ**

*Бахтин Б.М. доктор технических наук, профессор  
Шарков В.П , кандидат технических наук, доцент2  
ФБГОУ ВПО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РГАУ- МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА»  
г. Москва , Россия*

Аннотация

Работа посвящена исследованию влияния грунта -заполнителя в ячеистых конструкциях гидротехнических и других сооружений на их изгибные деформации и напряженное состояние.

Для решения поставленной задачи авторы провели опыты на модели и использовали расчетное обоснование.

В работе выявлено, что для модельных условий грунт- заполнитель при изгибе одна ячейковой модели, заделанной в основание, активно участвует в сопротивлении изгибу. При этом сопротивление модели ячейки с грунтом, напрямую влияющее на величины прогибов её свободного конца, практически равноценно сопротивлению пустой ячейки, имеющей на 30 % большую толщину стенки (при неизменных наружных габаритах сечения ячейки).

Учет сопротивления грунта-заполнителя в расчетном обосновании таких сооружений может уменьшить толщину стенок ячеистого каркаса.

Авторы считают необходимым продолжить исследования применительно к натурным условиям работы сооружений рассматриваемого типа.

Ключевые слова: ячейка, грунт-заполнитель, модель, заделка, опыт, изгиб, прогибы, напряжения.

Как известно, одним из основных требований , предъявляемым к любому гидротехническому сооружению , является обеспечение его прочности . Этот условие предполагает не превышение возникающих в рассматриваемой

конструкции напряжений допустимых их значений (на сжатие или растяжение). При недостатке прочности для её обеспечения , например, в конструкциях из бетона повышают его марку или поперечные размеры , что приводит к их удорожанию.

В гидротехнических и других сооружениях ячеистой конструкции, состоящих из бетонных (или железобетонных) коробок, засыпанных грунтом, в самой конструкции имеется резерв прочности. Дело в том, что при расчете напряжений в каркасе таких конструкций учитывается сопротивление только самой бетонной конструкции , но не учитывается влияние грунта- заполнителя . При этом грунт при изгибных деформациях конструкции , например, при действии внешней горизонтальной силы  $P$  ( рис. 1), может быть включен в работу, что должно привести к уменьшению напряжений в конструкции

Влияние грунта – заполнителя в обеспечение прочности сооружения и его сопротивление при изгибе в настоящее время в расчетной практике не учитывается .

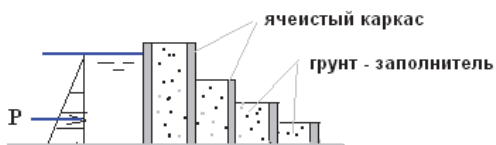


Рис. 1. Схема плотины ячеистой конструкции

$P$  – нагрузка от гидростатического давления

Настоящая работа посвящена изучению влияния сопротивления грунта-заполнителя на изгибные деформации ячеистой конструкции и его оценке применительно к фрагменту сооружения - одиночной ячейки, заполненной песчаным грунтом ( рис. 2).

Как известно, напряжения, возникающие в стенках гидротехнических сооружений ячеистой конструкции под действием внешних нагрузок, в инженерных расчетах определяют методами сопротивления материалов по формуле внецентренного сжатия.

Рассмотрим работу одиночной ячеистой конструкции (коробки), заполненную грунтом и заделанную в основании, под действием горизонтальной силы (рис. 2).

Краевые напряжения, возникающие в конструкции в её некотором горизонтальном сечении можно определить по формуле

$$\sigma = N / F \pm (M / J) y \quad (1)$$

где  $N$  – сумма вертикальных сил, действующих выше расчетного сечения,

$F$  – площадь поперечного сечения каркаса ячейки,

$M$  – сумма моментов сил относительно срединного сечения,

$J$  – момент инерции расчетного сечения в плоскости действия силы,

$y$  – ордината расчетной точки (в горизонтальном сечении).

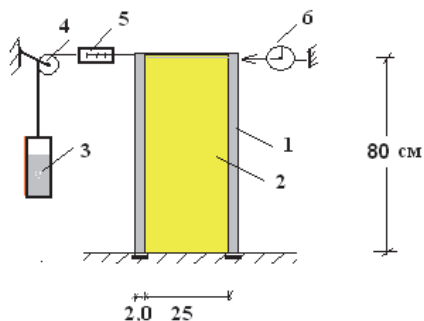


Рис. 2. Схема опытной установки

1 ячеистый -каркас, 2- песчаный наполнитель, 3- контейнер, 4- блок,

5- динамометр, 6- датчик перемещений

В этой формуле вертикальная сила  $N$  складывается из веса каркаса, приложенного выше расчетного сечения, а также пригрузки его грунтом – заполнителем, которая образуется за счет зависания грунта на стенках.

Изгибающий момент  $M$  определяется произведением горизонтальной силы на плечо.

Если эта конструкция заделана в основании, то напряжения, возникающие в ней под действием горизонтальной силы в упругой стадии работы, должны быть пропорциональны её изгибным деформациям (прогибам), поскольку последние определяются этой же силой ( см. ниже формулу 2).

Рассмотрим 2 случая работы на изгиб этой конструкции: первый – для пустой ячейки без грунта, второй – для ячейки полностью заполненной грунтом.

Прогибы верхнего свободного конца ячейки в этих случаях должны быть различны, при этом в первом случае - без грунта они должны быть больше, а во втором - меньше по величине. Эта картина будет наблюдаться в том случае, если грунт вместе с бетонным каркасом будет участвовать в изгибных деформациях, повышая сопротивление. Однако насколько велик вклад грунта в сопротивление неизвестно.

Для ответа на эти вопросы были проведены специальные опыты. В этих опытах определялись прогибы одиночной ячейки для двух случаев - пустотелого каркаса, а также ячейки, заполненной песчаным грунтом ( рис. 2). Ячейка была изготовлена из гипсово-песчаной смеси в соотношении Г:П:В = 1: 0,5 : 1 высотой 80 см, при её плановых внутренних размерах 25x25 см и

толщиной стенок 2 см. В качестве заполнителя ячейки использовался мелкий песок из люберецких карьеров.

Модель была приклеена к жесткому металлическому основанию специальным шеллачным клеем (лаком).

Горизонтальная нагрузка прикладывалась горизонтально на уровне свободного конца ячейки. Она создавалась с помощью тонкого троса толщиной 3мм, одним концом закрепленного к ячейке, а другим - к контейнеру с грузами (рис.2). В опытах нагрузка создавалась грузами, укладываемыми в контейнер ступенями (общим весом до 10 кг).

При этом на каждой ступени нагрузки регистрировались прогибы верхнего конца ячейки. Прикладываемая сила измерялась динамометром с ценой деления 0,01 кг, а прогибы - индикатором часового типа с ценой деления 0,001мм. Для повышения точности в опытах трос был сцентрирован вдоль оси симметрии ячейки.

С пустым каркасом было проведено серия из 12 опытов, с заполненным – из 11 опытов.

Полученные опытные данные были сведены в таблицы, на основании которых построены графики зависимости прогиба верхнего конца ячейки от прилагаемой силы.

Опыты показали, что зависимость прогибов от нагрузки в рассмотренном диапазоне оказалась практически прямо пропорциональной, то есть с увеличением прикладываемой силы прогибы при изгибе модели пропорционально возрастали, что свидетельствует об упругой стадии работы модели при заделке её в основании. При этом тангенс угла наклона графика

(зависимость прогиба от нагрузки) в случае пустой ячейки составлял  $\text{tg } \theta = 0,4$ .

Во второй серии опытов, то есть с заполненным каркасом, график зависимости прогибов от нагрузки оказался также практически прямолинейным. Но тангенс угла наклона графика оказался в 1,33 раза меньше, чем в первой серии опытов. Этот результат свидетельствует о существенном (33%) влиянии песчаного заполнителя на прогиб ячейки, уменьшая его, при изгибе от внешней нагрузки. То есть заполнение песком системы каркас-заполнитель может в упругой стадии работы пропорционально уменьшить и напряжения в ячеистой конструкции.

Оценим степень влияния грунта на уменьшение напряжений применительно к данным опытам.

Как известно, формула для определения прогибов балки, имеющей ячеистое сечение, консольно заделанной в основании, имеет вид [1]:

$$\Delta = P l^3 / 3 E J \quad (2)$$

где  $E$  – модуль упругости материала ячеистого каркаса, а остальные параметры известны из выражения (1).

Для пустого каркаса момент инерции для квадратной ячейки в плане с внутренними размерами  $b = 25\text{см}$  и внешними –  $B = 29\text{см}$  относительно оси симметрии:

$$J_{\text{БЕТ}} = B^4 / 12 - b^4 / 12 = 29^4 / 12 - 25^4 / 12 = 58\,940 - 32\,552 = 26\,388 \text{ см}^4.$$

Обозначим первое слагаемое через  $J_{\text{ОБЦ}} = B^4 / 12 = 58\,940 \text{ см}^4$  и второе -  $J_{\text{ГР}} = b^4 / 12 = 32\,552 \text{ см}^4$ .



Используем данные, полученные в опытах, при горизонтальной силе  $P = 10$  кг. Для пустого каркаса при приложении этой силы получена величина прогиба верхней части ячейки  $\Delta = 0,00286$  см.

В других опытах с ячеистой конструкцией, заполненной песком, при такой же нагрузке  $10$  кг получена величина прогиба равная  $\Delta = 0,00214$  см, что в  $1,336$  раза меньше, чем в первой серии опытов.

Отметим, что полученные в опытах величины прогибов составляет примерно  $1/28\ 000$  и  $1/38500$  по отношению к высоте модели.

Используя данные о прогибе для пустого каркаса из формулы (2), определим величину фактического модуля упругости материала ячейки:

$$E_{\text{БЕТ}} = P l^3 / \Delta 3J_{\text{БЕТ}} = 10 \times 80^3 / (0,00286 \times 3 \times 26388) = 22614 \text{ кг/см}^3 \quad (3)$$

Отметим, что эта величина согласуется с данными для динамического модуля упругости материала из гипсово-песчаного смеси указанного выше состава, полученного нами ранее в опытах [2].

По аналогичной методике определим модуль упругости консольной балки сплошного квадратного сечения из некоего условного материала, прогиб которой равен прогибу ячейки с песком  $\Delta = 0,00214$  см., считая, что она имеет поперечное сечение со сторонами  $B \times B = 29 \times 29$  см.

Как отмечалось выше, момент инерции балки такого сечения равен

$$J_{\text{ОБЩ}} = B^4 / 12 = 58940 \text{ см}^4, \text{ тогда}$$

$$E_{\text{УСЛ}} = P l^3 / \Delta 3J_{\text{УСЛ}} = 10 \times 80^3 / (0,00214 \times 3 \times 58940) = 13531 \text{ кг/см}^3.$$

Как видим, модуль упругости условного материала, заменяющий гипсо-песчаный каркас ячейки с песком, равен около  $13,5$  тыс.  $\text{кг/см}^3$ . (заметим, что он меньше чем модуль упругости материала каркаса на величину  $E_{\text{БЕТ}} - E_{\text{БЕТ}} = 22614 - 13531 = 9083 \text{ кг/см}^3$ ).

Надо полагать, что поскольку грунт также вносит свой вклад в сопротивление при изгибе, то прогиб ячеистой конструкции с грунтом при нагружении должен складываться из жесткости каркаса ( $E_{\text{БЕТ}} J_{\text{БЕТ}}$ ) и жесткости грунта ( $E_{\text{ГР}} J_{\text{ГР}}$ ), что позволяет записать равенство :

$$\Delta = P l^3 / 3 E_{\text{УСЛ}} J_{\text{УСЛ}} = P l^3 / 3 (E_{\text{БЕТ}} J_{\text{БЕТ}} + E_{\text{ГР}} J_{\text{ГР}}).$$

Сокращая однородные члены, получим равенство:

$$E_{\text{УСЛ}} J_{\text{УСЛ}} = E_{\text{БЕТ}} J_{\text{БЕТ}} + E_{\text{ГР}} J_{\text{ГР}},$$

из которого можно определить величину модуля упругости грунта:

$$E_{\text{ГР}} = (E_{\text{УСЛ}} J_{\text{УСЛ}} - E_{\text{БЕТ}} J_{\text{БЕТ}}) / J_{\text{ГР}}.$$

Здесь  $J_{\text{ГР}}$  – момент инерции грунтовой «балки» квадратного сечения с внутренними размерами ячейки 25x25см. С учетом, что  $J_{\text{ГР}} = b^4 / 12 = 32552 \text{ см}^4$  для песка получаем :

$$E_{\text{ГР}} = (E_{\text{УСЛ}} J_{\text{УСЛ}} - E_{\text{БЕТ}} J_{\text{БЕТ}}) / J_{\text{ГР}} = (13531 \times 58940 - 22614 \times 26388) / 32552 = 6168 \text{ кг/см}^3.$$

Как видим, для условий опыта модуль упругости песчаного грунта составляет  $6168 / 22614 = 0,27$  от модуля упругости гипсо-песчанного материала каркаса.

Полученное значение модуля упругости песчаного материала  $E_{\text{ГР}} = 6168 \text{ кг/см}^3$  более чем на порядок выше, чем модуль деформации этого грунта. Например, по справочным данным для мелкого песчаного грунта в рыхлом состоянии модуль деформации составляет около  $250 \text{ кг/см}^2$  [3].

Такая разница, видимо, может объясняться малыми величинами деформаций грунта на контакте с конструкцией при изгибе последней в упругой стадии работы, и потому мы в опытах имеем дело с модулем

упругости грунта, а не модулем деформации, характерного при существенных деформациях.

Как отмечалось, основной результат опытов в том, что прогиб ячеистой конструкции с грунтом в 1,33 раза меньше, чем у пустотелой конструкции. То есть грунт уменьшает прогибы, увеличивая сопротивление конструкции.

Оценим вклад сопротивления грунта на примере пустотелой конструкции, выполненной из гипсо-песчанного материала с наружными размерами  $V \times B = 29 \times 29$  см, но с большей толщиной стенок. При этом обозначим искомые внутренние размеры ячейки через  $X$ .

При известных параметрах из формулы (2) для условий опытов ячейки с грунтом, зная её прогиб, определим суммарный момент инерции ячеистой конструкции:

$$J_{\text{пр}} = P l^3 / 3 E_{\text{БЕТ}} \Delta = 10 \times 80^3 / (3 \times 22614 \times 0,00214) = 35266 \text{ см}^4,$$

где  $E_{\text{БЕТ}} = 22614 \text{ кг/см}^2$  - модуль упругости материала каркаса.

По этой величине, используя формулу для момента инерции для балки ячеистой формы  $J_{\text{пр}} = (B^4 - x^4) / 12$ , определим искомый внутренний размер ячейки

$$X = [29^4 - (12 \times 35266)]^{0,25} = 23,78 \text{ см.}$$

Таким образом, замена ячейки с грунтом на эквивалентную пустую при внешнем размере ячейки 29 см требует уменьшения внутреннего размера ячейки с 25 см до 23,78 см, что практически требует увеличения толщины стенки ячеистого каркаса с 2 см до 2,6 см. Это равноценно увеличению затрат на материал каркаса по на 30%.

Как видим, в модельных условиях вклад грунта в сопротивление при изгибе конструкции существенен. Естественно, это повлияет и напряженное

состояние конструкции. Видимо, при этом здесь должно быть учтены такие факторы, как навал грунта на стенки при изгибе конструкции.

В реальных сооружениях ячеистой конструкции, выполняемых из бетона и заполняемых грунтовыми материалами (песком, гравием и др.) отношение модулей упругости бетона и грунтов может быть значительно больше, чем в нашем опыте, что может дать результаты, отличающиеся от полученных. Это представляет и научный и практический интерес.

На основе исследований на модели можно сделать следующие выводы:

1. Грунт –заполнитель в ячеистой конструкции при изгибных деформациях на модели ведет себя как упругое тело, работая в упругой стадии и реализуя свой модуль упругости. Это объясняется малыми деформациями модели в опытах, составляющим примерно  $1/28000$  от её высоты.

2. Не учет в расчетах прогибов сопротивления грунта – заполнителя при изгибных деформациях модели приводит к повышению толщины стенки ячеистого каркаса на 30%.

3. В дальнейших исследованиях следует изучить этот вопрос применительно к другим материалам заполнителя и каркаса, в том числе моделирующих натурные условия работы сооружения

## ОБРАЗОВАНИЕ ЗАТОРОВ ЛЬДА НА РЕКАХ БАССЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ<sup>1</sup>

*С.А. Агафонова\**, *А.Н. Василенко\**, *Д.В.Козлов\*\**, *Н.Л. Фролова\**  
*\*МГУ имени М.В.Ломоносова, \*\*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*  
*г. Москва, Россия*

**Аннотация.** На примере наиболее проблемных участков рек бассейна р. Северная Двина рассмотрены современные особенности заторообразования, характеризующиеся сложным сочетанием меняющихся климатических условий и антропогенного воздействия.

**Summary:** Specific features of ice jam in rivers of the Northern Dvina Basin over last years are analyzed. These features were observed due to expected climate change and economic activity.

Исследование ледового режима рек – важная научная и практическая задача ввиду особенностей географического положения и климатических условий нашей страны. Со сроками и продолжительностью ледовых явлений связаны многие виды хозяйственной деятельности – условия навигации, нормальное функционирование гидротехнических сооружений и др. Во многих случаях ледовыми явлениями обусловлены опасные гидрологические процессы. Среди них особое место занимают заторы льда. Скопления льдин в русле при заторах вызывают подъем уровней воды и наводнения. Нередко заторные уровни воды превышают максимальные уровни половодья. Заторные наводнения особо опасны тем, что происходят в холодное время года и сопровождаются выходом на берег льда, который разрушает расположенные в пределах зоны затопления

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-31278 мол\_а) и Российского научного фонда (проект № 14-37-00038)

сооружения. Ущерб, причиняемый заторами льда, как правило, намного превышает ущерб от наводнений в период свободной ото льда реки [Бузин, 2004].

Заторы являются важной особенностью ледового режима рек, текущих с юга на север. Если процесс вскрытия распространяется от верхнего течения к нижнему, то заторы в период вскрытия формируются ежегодно, но не всегда ведут к бедствию. Задерживая лед и давая тем самым возможность рассредоточиться ледовым массам ниже по течению, они в какой-то мере нормализуют ледоход. При большом количестве ледового материала в бассейне после суровой зимы заторы образуются в верховьях рек и, при благоприятных погодных условиях, задерживают процесс вскрытия, пока реки не освободятся ото льда на достаточном протяжении. При малом количестве льда – остановка ледяных полей происходит значительно ниже по течению. Распределение мест образования заторов по длине реки зависит также от водности в период вскрытия. Мощная волна половодья проталкивает лед на большее расстояние, и заторы образуются ниже по течению, чем в годы с низкой водностью.

В данной работе рассмотрены особенности образования заторов льда на р. Северная Двина и ее главных притоках (рр. Сухона и Вага) за период с 1936 по 2015 гг. Проведено сравнение двух периодов: до и после 1975 г. Наиболее подробно проанализированы последние 15 лет.

На р. Северная Двина заторы обычно формируются на участках вблизи г. Великий Устюг, г. Котлас, с. Двинский Березник, д. Орленцы, с. Холмогоры. Вблизи первых двух городов заторообразованию способствуют резкое уменьшение уклона водной поверхности, наличие островов и резких поворотов русла или коренного берега; у д. Орленцы – необычно крутой поворот реки и сужение русла; в районе Холмогор – разделение реки на многочисленные

мелководные рукава и наличие нескольких резких поворотов основного русла, у которых лед при подвижках упирается в коренной берег. На р. Сухона заторы льда образуются обычно у островов Еловец, Осовой, Дедов и на крутых поворотах реки у деревень Двиницы, Мотыри, Черновские, Селище, Опоки. Нередки они и в устье реки у г. Великий Устюг. Заторы в устье обычно являются хвостовым продолжением упоминавшихся выше северодвинских заторов, но иногда голова затора устанавливается на р. Сухона перед её слиянием с р. Юг. Последнее характерно для лет, когда р. Юг, вскрываясь одновременно или несколько раньше р. Сухоны, создает сильный подпор на устьевом участке и препятствует поступлению сухонского льда в р. Северная Двина. Заторы льда постоянно образуются на р. Юг в месте ее крутого поворота у с. Стрелка, в 12 км выше устья [Русловые..., 2012].

Ледовый режим бассейна р. Северная Двина достаточно изучен, ежегодно привлекаются значительные силы и материальные средства для предотвращения образования заторов льда, мониторинг прохождения весеннего ледохода осуществляется как на сети постоянного действующих, так и временных гидрологических постов, с 2009 г. также используются данные космических снимков. Но ледовые проблемы для данной территории остаются до конца не решенными: ущербы судоходных компаний, из-за сокращения периода навигации при длительных заторах, повреждение опоры Котласского автомобильного моста при зимнем вскрытии 2006 г., заторное наводнение 2013 г. в районе г. Великий Устюг и т.д.

Организация мониторинга и разработка противозаторных мероприятий в рамках исследуемой территории осложняется наблюдаемыми изменениями ледового режима, связанными, в том числе и с меняющимися климатическими условиями.

Изменение характеристик ледового режима в период вскрытия заключается в сдвиге средних сроков первой подвижки, начала ледохода и очищения к более ранним на 1–3 дня. Смещение средних сроков происходит из-за роста повторяемости экстремально раннего начала весенних ледовых процессов. При экстремально раннем вскрытии увеличивается вероятность резкого похолодания, при котором возрастает прочность льда, снижаются уровни воды, стабилизируются уже образовавшиеся заторы.

Для лет, когда вскрытие происходит в сроки, близкие к среднемноголетним, наблюдается четкая тенденция уменьшения продолжительности продвижения фронта вскрытия и очищения, например по р. Сухона. Одновременное вскрытие протяженных участков увеличивает вероятность образования мощных заторов.

В последние годы по всей Европейской территории России наблюдается тенденция снижения расходов воды в период весеннего половодья. В бассейне р. Северная Двина, начиная с 2000 г. все чаще весенний ледоход проходит при низких расходах воды. Очищение ото льда в такие годы затягивается, что сокращает и без того непродолжительный период навигации [Агафонова, Фролова, 2009].

Важным фактором современного заторообразования на рр. Сухона и Северная Двина является антропогенное воздействие. Речь идет, прежде всего, о противозаторных мероприятиях (ледорезных и взрывных работах, сбросе теплых сточных воды), объем которых с каждым годом растет.

На р. Малая Северная Двина от г. Великий Устюг до г. Котлас ледорезные работы с чернением пропилов проводятся ежегодно. Но повторяемость заторов ниже г. Великий Устюг не снижается, как и не снижаются максимальные заторные уровни воды и их заторные составляющие (рис. 1, 2). В работе [Бузин и др., 2014]



подтверждено отсутствие статистически значимых изменений в многолетнем ряде максимальных заторных уровней воды р. Сухона у г. Великий Устюг.

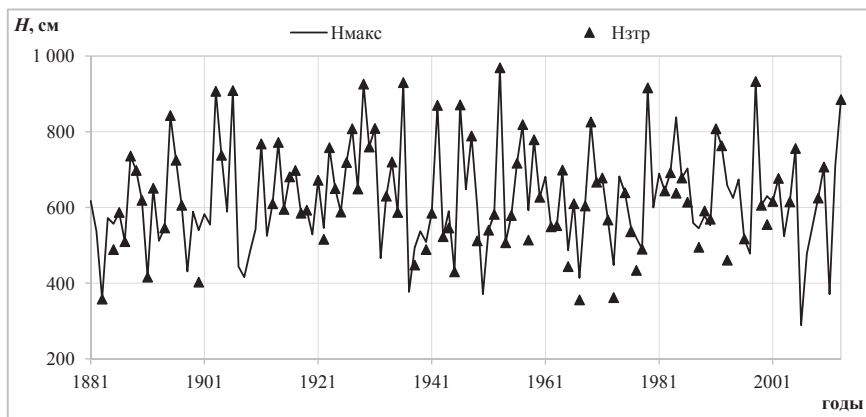


Рис. 1. Изменение максимальных уровней воды р. Сухона в районе г. Великий Устюг в период весеннего ледохода ( $H_{\text{макс}}$ ) и в период образования заторных уровней воды ( $H_{\text{зтр}}$ ) (Отметка «нуля» графика поста 49,34 м БС)

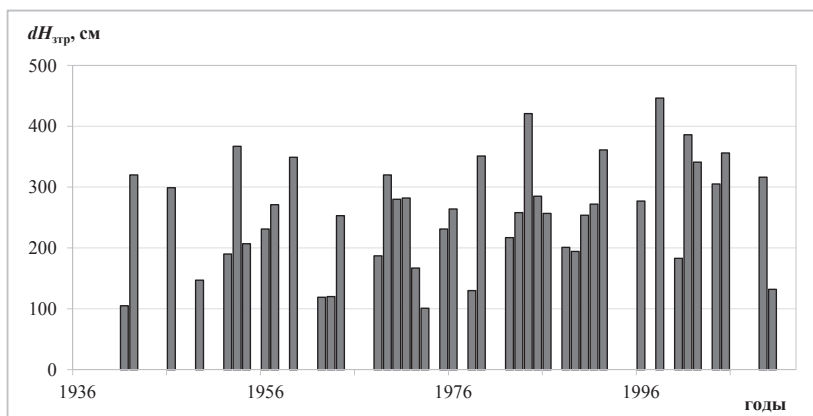


Рис. 2. Изменение заторной составляющей максимальных заторных уровней воды ( $dH_{\text{зтр}}$ ) р. Сухона у г. Великий Устюг

Для защиты г. Котлас осуществляется сброс теплых сточных воды ТЭС 1 Котласского ЦБК для образования протяженной полыньи. Затопы не образуются на довольно протяженном участке, но ежегодно образуются у кромки полыньи в районе гп Телегово.

На сегодняшний день оценки эффективности противозаторных мероприятий на реках России расходятся. Огромные объемы ледорезных и взрывных работ не снижают повторяемость заторных наводнений. Следует отметить, что для рек, текущих с юга на север невозможно обеспечить беззаторное прохождение весеннего ледохода от истока до устья. Планирование противозаторных мероприятий должно быть организовано только в рамках всего речного бассейна в целом. Необходимо пользоваться возможностью предотвращать затопы ниже крупных населенных пунктов, допуская образование заторов в относительно «безопасных» местах. Затопы в районе гп Каликино на р. Сухона защищают г. Великий Устюг ниже по течению. Затопы в Орленцах позволяют р. Северная Двина ниже по течению достаточно «подготовиться» к вскрытию, в этом случае катастрофические затопы у г. Архангельск не образуются.

Среди населенных пунктов, для которых весенний ледоход проходит максимально сложно, стоит выделить г. Великий Устюг. Большинство наводнений в г. Великий Устюг за всю историю наблюдений имело заторный характер. Затопы, влияющие на максимальные уровни воды у города, обычно формируются на протяженном перекатном участке ниже узла слияния рр. Сухона и Юг. Фактически это первое по течению речной системы место, где созданы все условия для образования заторов. С этим связана особая важность создания эффективной методики прогнозирования максимальных заторных уровней воды на этом участке.

Существующие методики прогноза максимальных заторных уровней, в том числе и для р. Сухона у г. Великий Устюг, основаны на эмпирических зависимостях [Бузин, 2010, Агафонова, 2006]. Но в настоящее время погрешность прогнозов по таким методикам увеличилась [Бузин и др., 2014]. Главная причина – меняющиеся условия прохождения весеннего ледохода: климатические изменения, возрастающие объемы противозаторных мероприятий, снижение ледопроектной способности русла из-за прекращения дноуглубительных работ.

В данной работе проведена попытка составления схемы прогноза максимальных заторных уровней воды р. Сухона в районе г. Великий Устюг с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС). Обучение ИНС проводилось с использованием программы Statistica 7. Модуль «Neural networks» данной программы является одним из самых современных инструментов для обучения искусственных нейронных сетей, включающий в себя большое количество как простых, так и сложных архитектур и большое количество вариантов активирующих и весовых функций.

В основе ИНС лежит попытка моделирования процессов протекающих в человеческом мозге. Математически нейрон представляет собой взвешенный сумматор, который обрабатывает совокупность поступивших в него сигналов с помощью различных весовых функций, либо коэффициентов в зависимости от типа ИНС. Каждая нейронная сеть имеет в своем составе входные нейроны, в которые помещается исходная информация. Нейроны скрытого слоя, в которых идет преобразование данных, а также нейроны выходного слоя, в которые поступает результат вычислений. Совокупность нейронов и путей связи между ними представляет собой архитектуру нейронной сети [Васильев, 2009].

Искусственные нейронные сети успешно опробованы для прогнозирования стока, сроков наступления различных гидрологических явлений, расчетов загрязнений и воднобалансовых расчетов. Применение ИНС для прогнозирования максимальных заторных уровней может быть оправдано значительным числом факторов, влияющих на образование затора и заторного подъема воды [Darrell. Massie, 2002]. Отличительной чертой ИНС является возможность ее обучения, то есть обновления связей между различными предикторами с целью оптимизации прогноза и запоминание сетью всех шагов обучения. Обученная модель способна «распознавать» данные, необходимые для прогнозирования в массивах информации, и применять их для формирования прогноза.

Было использовано две архитектуры ИНС (рис. 3 и 4) – архитектура радиальных базисных функций (РБФ) и архитектура трехслойного перцептрона (MLP). В обеих архитектурах используются три слоя нейронов, разница заключается в принципах преобразования данных. В случае MLP-архитектуры, каждому нейрону скрытого слоя назначается определенный вес, преобразующий исходные данные, и активационная функция, участвующая в передаче данных в выходной слой. Оптимизация прогноза проходила по методу антиградиента. В этом случае, сигнал последовательно возвращается от выходных нейронов к скрытому слою, а затем к входному слою, а затем возвращается к выходному, и так до тех пор, пока в многомерном анализируемом пространстве не будет достигнут минимум. При использовании РБФ-архитектуры в скрытом слое каждый нейрон преобразует поступающие в него сигналы с помощью определенной функции преобразования (в данном случае автоматически назначалась гиперболическая функция). Преимущество данной архитектуры – ее сравнительно более быстрая обучаемость.

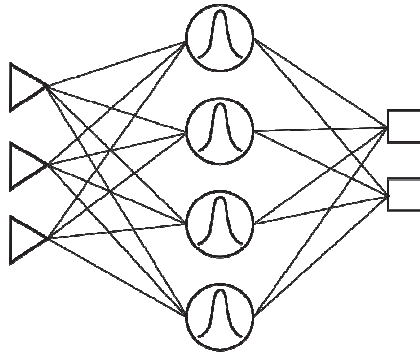


Рисунок 3 – Архитектура РБФ

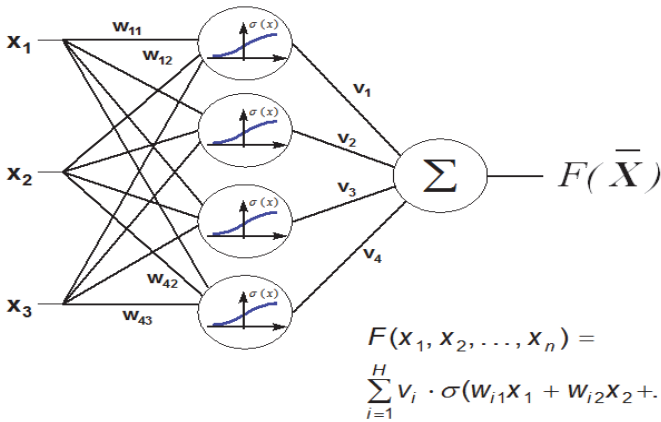


Рис. 4. Модель многослойного (трехслойного) перцептрона

В качестве предикторов были использованы данные по постам рр. Сухона и Юг, характеризующие условия от образования ледостава до подготовки к вскрытию (табл.1). Включение в прогноз данных по нескольким постам р. Сухона позволяет учесть распределение характеристик, сложившихся к началу вскрытия условий, возможное распределение заторов по длине реки и вероятность формирования затора льда ниже г. Великий Устюг. Метод ИНС является относительно новым в гидрологии и остается вопрос об оценке качества методики прогноза. Для анализа результатов прогнозов использовался метод выбрасываемой точки. После обучения на полном ряду данных, производилась

проверка результатов на произвольно выбранном году. Проверка была осуществлена для каждого года.

Таблица 1 – Предикторы для прогноза максимального заторного уровня воды  
р. Сухона у г.Великий Устюг

река пост	р. Сухона			
	Тотьма	Березовая Слободка	Каликино	Великий Устюг
Ледоставный уровень воды	+	+	+	+
Продолжительность периода замерзания и осеннего ледохода (шугохода)	-	-	-	+
Толщина льда, максимальная	+	+	+	+
Дата вскрытия	+	+	+	+
река	р. Сухона		р. Юг	
пост	гп Каликино		гп Подосиновец	
Расход воды за день до вскрытия	+		+	

В результате, корреляция между фактическими и спрогнозированными уровнями была равна при обучении с использованием MLP-архитектуры 0,7-0,9. При использовании РБФ-архитектуры, получены значения коэффициента корреляции для тех же данных от 0,4 до 0,8. Причем при последовательном обучении большого числа сетей (до 10) на каждом наборе исходных данных, наилучшие результаты получены для последних обученных сетей.

Модуль «Neural networks» в качестве оценки качества получаемой зависимости предлагает отношение стандартного отклонения ошибки прогноза к стандартному отклонению исходных данных. Это отношение аналогично используемой в практике гидрологических прогнозов характеристике  $s/\delta$ , где  $s$  – среднеквадратическое отклонение эмпирических точек от установленной зависимости, а  $\delta$  – среднеквадратическое отклонение предсказываемой величины.

В современных условиях меняющегося климата вопросы прогнозирования максимальных заторных уровней воды и организации противозаторных мероприятий остаются актуальными. Для отдельных участков рр. Северная Двина и Сухона заторы в период весеннего ледохода образуются ежегодно, но не всегда ведут к наводнениям. Применение новых методов, в том числе ИНС для прогноза максимальных заторных уровней воды дает хорошие результаты.

## **ПРОБЛЕМЫ ОБРАСТАНИЯ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*А.И. Есин, доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВПО «САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.И. ВАВИЛОВА», г. Саратов, Россия*

*Т.Н. Сауткина, кандидат технических наук  
ФГБОУ ВПО «САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ГАГАРИНА Ю.А.», г. Саратов, Россия*

В статье рассматривается изменение шероховатости внутренних поверхностей труб в процессе эксплуатации. Дается формула для определения шероховатости трубопроводов в зависимости от времени эксплуатации.

The article discusses the change of roughness of inner surfaces of pipes in operation. Given a formula to determine the roughness of the piping depending on the operating time.

Системы трубопроводов – это сложное и дорогостоящее сооружение. Проведенные исследования о состоянии трубопроводов свидетельствуют о том, что водопроводные сети вследствие снижения пропускной способности трубопроводов не соответствуют нормативным требованиям.

На сегодняшний день в России наблюдается очень высокий уровень аварийности, который связан с неудовлетворительным состоянием трубопроводов.

Работы по реконструкции водопроводных систем не проводились в требуемые сроки. Из-за снижения пропускной способности нарушается работа насосов, снижается напор и расход, что оказывает влияние на работу водопроводных систем.

Состояние водопроводных систем ухудшается. Реконструкция систем выполняется на 5–10% от необходимого объема, а ввод новых водопроводных систем практически прекратился.



Одним из важных вопросов, длительно эксплуатируемых существующих водопроводных систем является проблема обеспечения своего назначения в безопасном и надежном режимах работы трубопроводов. Это обусловлено тем, что срок службы трубопроводов превышает 30-40 лет. От безопасной работы водопроводных систем зависит своевременность подачи воды потребителям, необходимость проведения текущих и капитальных ремонтов, а также ее реконструкция и усовершенствование водопроводной сети.

Противоречия между длительно эксплуатируемыми трубопроводами и нормативными требованиями имеют следующие причины:

- с течением времени трубопроводы подвергаются обрастанию;
- изменяются условия эксплуатации трубопроводов (объемы транспортировки воды, качество воды, рабочее давление);
- в связи с развитием техники и технологий меняются нормативные требования.

В процессе эксплуатации в трубопроводах образуются различного рода отложения и обрастания. На этот процесс воздействуют: химический состав водопроводной воды, концентрация растворенных солей, содержание в воде растворенного кислорода, присутствие микроорганизмов, водорослей, дрейссен и др. Под их воздействием изменяется пропускная способность трубопроводов, увеличивается их шероховатость (рис. 1).

Вопрос работоспособности трубопроводов является актуальным, т.к. в перспективе необходимо разработать методы прогнозирования, способы и средства прочистки трубопроводов; комплекс технических, организационных и хозяйственных мероприятий, которые бы обеспечивали исправное состояние водопроводной сети; критерии оценки работоспособности трубопроводов и с их

помощью, возможно, делать дальнейший прогноз состояния трубопроводов, обеспечивающих безотказную эксплуатацию водопроводной сети.

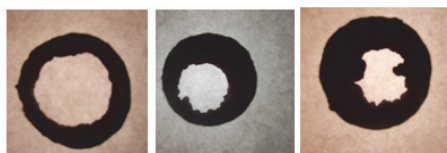


Рис. 1. Обрастание трубопроводов  $d = 40$  мм различных лет эксплуатации

Одной из главных задач служб эксплуатации большинства городов является предупреждение старения и выхода из строя водопроводных сетей, т.к. они выработали свой технически допустимый нормативный срок службы, который гарантировал их надежную эксплуатацию. Старение водопроводов достигает критического уровня.

В результате износа трубопроводов ежегодно увеличивается число прорывов, аварий и потерь воды. Аварии на магистральных сетях приводят к серьезным последствиям, т.к. нарушается водоснабжение города, тем самым население остается без воды.

Если не принять оперативных мер по повышению эффективности и работоспособности трубопроводов, то возникает опасная ситуация с многочисленными последствиями для людей.

Для решения проблемы обновления старых водопроводных сетей можно использовать различные внутренние защитные покрытия трубопроводов. Они предназначены для эффективного средства обеспечения физической целостности трубопроводов, могут служить надежным барьером между водой и трубопроводом, а также способствовать восстановлению прочностных и

гидравлических характеристик водопроводных сетей для продления их срока службы и снижения потерь воды.

Но на сегодняшний день не выработаны четкие научные подходы к проблеме защиты трубопроводов внутренними покрытиями, т. к. нет подходов к прочностному расчету двухслойных покрытий, а также не всегда имеются справочные данные о параметрах защитных покрытий. Поэтому необходим научно-обоснованный подход к задачам предотвращения раннего старения водопроводных сетей и реконструкции старых, который бы учитывал многочисленные факторы, влияющие на процесс старения и оптимальному планированию мероприятий по защите трубопроводов, для поддержания требуемых санитарно-гигиенических показателей питьевой воды.

В процессе эксплуатации водопроводные сети подвергаются воздействию различных внешних факторов, влияние которых отрицательно сказывается на техническом состоянии системы и сопровождается отклонением ее параметров от первоначальных расчетных значений. Прежде всего, изменяются пропускная способность, шероховатость. Эти отклонения иногда могут быть настолько значительными, что дальнейшая эксплуатация системы становится просто невозможной.

При проектировании трубопроводов водопроводной сети диаметр назначается с таким расчетом, чтобы полностью обеспечить потребителей водой, и при этом предполагают, что гидравлическое сопротивление труб в течение всего срока эксплуатации остается постоянным. В действительности пропускная способность трубопроводов постепенно уменьшается, снижаясь до 50 % расчетной и даже более. Это связано с увеличением шероховатости труб

вследствие коррозии. Этот процесс происходит с интенсивностью, которая зависит от материала стенок труб, свойств перекачиваемой воды и др.

Увеличение шероховатости трубопроводов в процессе эксплуатации принято определять по формуле А.Д. Альтшуля [1]

$$k_t = k_0 + \alpha \cdot t, \quad (1)$$

где  $k_0$  – абсолютная эквивалентная шероховатость, мм, для новых труб (в начале эксплуатации);  $k_t$  – то же, через  $t$  лет эксплуатации;  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий быстроту возрастания шероховатости, мм/год, который зависит от материала труб и физико-химических свойств воды. Значение коэффициента  $\alpha$  зависит от материала и диаметра труб, от свойств жидкости.

Специфика работы напорных трубопроводов такова, что экспериментальное изучение процесса обрастания возможно лишь в случаях аварийных и плановых ремонтных работ. Поэтому необходимо применять математическое моделирование процесса [2].

Чтобы определить рост шероховатости необходимо определить среднюю по внутренней поверхности величину шероховатости. Для этого были проведены измерения шероховатости внутренней поверхности труб, снятых в ходе ремонтно-восстановительных работ с различных участков трубопроводов. Измерения показали большой разброс в значениях. Образование наростов и отложений носит случайный характер, как по смоченному периметру, так и по длине трубы. Поэтому к оценке шероховатости применялись вероятностные методы. Обработка опытных данных методами математической статистики позволила перейти от случайных значений абсолютной шероховатости к детерминированным значениям абсолютной эквивалентной шероховатости (табл. 1).

Величина обрастания стальных трубопроводов

Количество лет эксплуатации	7	18	25
Величина обрастания $k - k_0$ , мм	1,3	4,6	6,1

Формула (1) для прогноза обрастания трубопроводов является чисто эмпирической и не имеет теоретического обоснования.

Путем решения смешанной краевой задачи для уравнения теплопроводности [2], на основе различия теплопроводящих свойств транспортируемой воды и материала наростов и отложений, была получена теоретическая формула для величины абсолютной эквивалентной шероховатости [3, 4]

$$k = k_0 + \alpha\sqrt{t}, \quad (2)$$

Если в отложениях и обрастаниях преобладает вюстит, то

$$\alpha = 1,183 \text{ мм/т}^{0,5},$$

где  $t$  – количество лет эксплуатации.

На рис. 2 представлены графики зависимостей (1), (2) и экспериментальные значения из табл. 1.

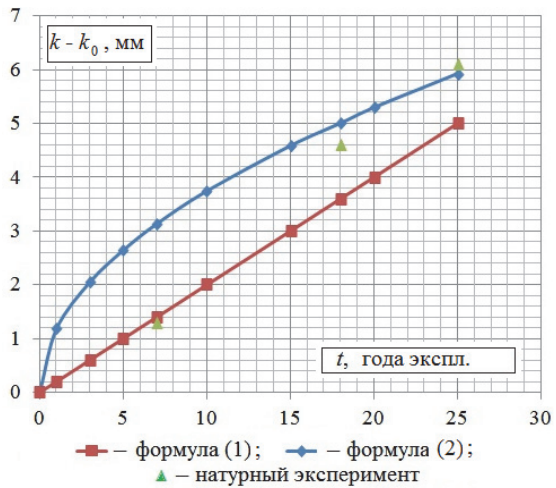


Рис. 2. Сравнение результатов исследований

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И МЕРЫ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ КИТАЯ**

*Нань Фэн, аспирант, Козлов Д. В., профессор, доктор техн. наук  
ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА»,  
г. Москва, Россия*

*Представлены примеры безопасности гидротехнических сооружений и меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций на водных объектах Китая, а также примеры международного сотрудничества по гидротехнике между КНР и РФ.*

*Examples of safety of hydraulic structures and measures on prevention of emergency situations on water objects of China, as well as examples of international cooperation in hydraulic engineering between China and Russia.*

**Пример 1.** Наводнения, произошедшие в Китае, России и других странах в последние десятилетия, заставляют инженеров-проектировщиков задуматься о разработке эффективной системы мер по инженерной защите населенных пунктов и обширных территорий от подобных катастрофических явлений в будущем [1]. Многофункциональные системы инженерных гидротехнических сооружений, разработанные и построенные продвинутыми конструкторами совместно с дизайнерами, смогли бы даже повысить туристическую привлекательность наших стран. Первая задача, стоящая перед инженерами-проектировщиками на пути разработки конструкций защитных сооружений, состоит в изучении реализованных мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций на водных объектах в различных странах и городах мира, расположенных в опасной близости с водой, а вторая - приспособить эти решения для конкретной реальности и на том объекте, который требует реализации подобных мер в другом месте земного шара [1].

Примером многовековой эффективной работы по решению комплексных задач инженерной защиты и надежного водообеспечения обширных территорий является знаменитый ирригационный комплекс гидротехнических сооружений древнего Китая - дамба “Дуцзяньян” (рисунок 1). Построенные свыше 2000 лет

назад, гидротехнические сооружения дамбы до сих пор отлично справляются со своими задачами: направляют воду для орошения Чэндуской равнины и сбрасывают лишнюю воду во время наводнения. Комплекс сооружений состоит из трёх отделов: непосредственно самой плотины в виде рыбьего рта (Юйцзуй), устья Баопинкоу (входа в канал) и хвостовой части «рыбы» - дамба Фэйшюань. Юйцзуй разделила реку на внутреннюю и внешнюю составляющие; в обычном режиме 60% воды попадает во внутреннюю реку для орошения Чэндуской равнины и обеспечения судоходства, а 40% - во внешнюю реку [1]. Во время наводнений 60% воды по речному изгибу попадает во внешнюю реку, после чего по основному руслу реки уходит в реку Янцзы, а узкий проход канала сдерживает излишнюю воду, не пуская её на равнину; вода, разворачиваясь, сливается через дамбу Фэйшюань с внешней рекой [1]. Песчаные наносы и камни из внутренней реки также через дамбу Фэйшюань сбрасываются из водного потока - чем больше наводнение, тем больше их сбрасывается [1].



Рис. 1. Дамба “Дуцзяньян”

**Пример 2.** Современные мировые тенденции в проектировании и строительстве гидротехнических сооружений свидетельствует об интенсивном росте числа средне- и высоконапорных гидроузлов, требующих повышенного внимания к их безопасной работе. К концу XX века в Китае из 371 построенных плотин - 205 были грунтовые и 157 - гравитационные, 23 из которых имеют высоту более 100 метров. За последнее десятилетие в КНР было построено несколько плотин высотой более 200 метров, в том числе, гидроузлы “Эр Тань” высотой 240 м, “Си Ло Ду” высотой 273 м, “Лун Тань” высотой 216,5 м, “Сяо Вань” высотой 292 м и др. В основном это гидроузлы, предназначенные для целей



водоснабжения, ирригации и борьбы с паводками. Практически на всех современных средне- и высоконапорных гидроузлах актуальной является проблема гашения избыточной энергии водного потока. При этом на высоконапорных водосбросах в пределах проточного тракта возникают такие нежелательные явления как вибрация элементов конструкций под действием гидродинамических нагрузок, кавитационные разрушения, раскрытие деформационных швов, образование трещин и др. На некоторых объектах отмечается снижение надежности концевой участка водосброса в результате диссипации значительного количества энергии на водосбросном фронте. Поэтому требуются дорогостоящие мероприятия, направленные на предупреждение и устранение вышеуказанных негативных явлений, в том числе на повышение коэффициента армирования и класса бетона, улучшение качества его укладки, повышение прочности последнего. Все это приводит к существенному увеличению сметной стоимости строительства гидротехнических сооружений.

В последние десятилетия в КНР было построено несколько десятков гидроузлов, высокопороговые бетонные водосбросные сооружения которых имеют ступенчатые низовые сливные грани [2]. Новой тенденцией возведения таких водосбросов стала модернизация конструкции быков на гребне водосброса, заключающаяся в устройстве расширения кормовой части этих быков, сопрягающейся с носком-уступом [2]. Это позволило видоизменить общую картину течения потока в зоне быка; преобразовать поток из двухмерного в трехмерный; резко интенсифицировать процессы аэрации и гашения избыточной энергии потока; снизить кавитационную опасность в областях жестких бетонных поверхностей быков и низовой сливной грани [2].

В начале 2000 гг. в КНР в провинции Гуй Чжоу был построен гидроузел “Со Фэн Ин”, в состав которого включен бетонный водосброс со ступенчатой низовой сливной гранью для сброса паводковых вод. Такие водосбросы предназначены для гашения избыточной энергии, используя приём комбинированного воздействия на поток - “расширение стенок быков к оси пролета + носок-уступ” в кормовой части быков [2]. Высота плотины составляет 121,80 м. Водосброс имеет

на гребне 5 поверхностных отверстий с высотой ступени 1,2 м. Поперечное сечение водосбросной плотины очерчено по координатам WES. Максимальный удельный расход составляет  $245 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{м})$  [2]. На рисунке 2 представлен общий вид гидроузла, сделанный в эксплуатационный период (2009 г.).

Характерные параметры водосбросов двенадцати речных гидроузлов КНР, построенных и введенных в эксплуатацию в последние годы и имеющих ступенчатую низовую сливную грань, показаны в таблице 1 [2].



Рис. 2. Ступенчатый бетонный водосброс гидроузла “Со Фэн Ин”  
(снимок сделан в эксплуатационный период - в 2009 г.)

На рисунке 3 показана физическая модель быков с расширенной кормовой частью со ступенчатой низовой сливной гранью, оголовком которой очерчен по координатам WES.



Рис. 3. Физическая модель быков с расширенной кормовой частью и ступенчатой низовой гранью и оголовком, построенным по координатам WES

Таблица 1. Гидроузлы, построенные в КНР  
и имеющие бетонные водосбросные плотины  
со ступенчатой низовой сливной гранью

Название гидроузла	$H_{пл}$ , м	$M$	$q$ , $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{м})$	$d$ , м	$l$ , м	Тип водосброса	Результат	Примечание
Да Чао Шан	111	0,7	193	1	0,63	Бетонная водосливная плотина	нет размывов в НБ, нет кавитации.	В паводок 2002 г.
Бай Сэ	130	1,4	156,3	0,9	-	Бетонная водосливная плотина	нет размывов в НБ, нет кавитации.	В паводок 2007 г.
Шуй Бу Я	233	3,9	181	5,22	-	Береговой открытый водосброс	Отрицательное давление (20...76,5) Кра, но пока нет кавитации.	Коэффициент гашения энергии 66%.
Хэ Лун	30,5	-	38,5	0,93	-	Бетонная водосливная плотина	нет размывов в НБ, нет кавитации.	-
Лю Дин Шан	9,15	-	3,0	4,17	-	Береговой открытый водосброс	нет размывов в НБ, нет кавитации.	-
Гуа Мин	10,862	0,8	8,96	1,0	-	Бетонная водосливная плотина	нет размывов в НБ, нет кавитации.	Коэффициент гашения энергии 57,7%.
Цзян Я	131	0,8	-	0,9	0,72	Бетонная водосливная плотина	нет размывов в НБ, нет кавитации.	-
Гао Шу Ся	42,5	-	14,06	0,25	-	Береговой открытый водосброс	нет размывов в НБ, нет кавитации.	-
Чжай Чжи	36	-	5,7	1,0	-	Береговой открытый водосброс	нет размывов в НБ, нет кавитации.	-
Хэн Шан	21	-	10,76	0,8	-	Береговой открытый водосброс	нет размывов в НБ, нет кавитации.	-
Дань Цзян Коу	97	-	120	0,9	-	Бетонная водосливная плотина	на поверхности ступени есть кавитационные раковины глубиной 1,2 м.	В паводок 1973 г.
Шуй Дун	57	0,65	90	0,9	0,63	Бетонная водосливная плотина	нет размывов в НБ, нет кавитации.	В паводок 1994 г. перед завершением строительства

Примечание:  $H_{пл}$  - высота плотины, м;  $M$  - заложение откоса низовой грани;  $q$  - удельный расход,  $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{м})$ ;  $d$  - высота ступени, м;  $l$  - длина ступени, м.

Условия безопасной эксплуатации ступенчатых водосбросов китайских средне- и высоконапорных гидроузлов потребовали проведения масштабных натурных и модельных исследований бетонных водосбросных плотин со ступенчатой сливной гранью, которые показали, что [2]:

– устройство в водосбросных пролетах быков с расширенной кормовой частью, сопряженной с вертикальным носком-уступом, позволяет создать за последним полости с повышенной аэрацией потока и сниженной кавитационной опасностью на ступенчатой сливной грани. При этом аэрация потока может достигать 30%, что, несмотря на наличие некоторого снижения давления, в полной мере защищает ступени от кавитационной эрозии их поверхностей;

– при пропуске сбросных расходов крайними пролетами наблюдалась более интенсивная аэрация потока, чем при работе всеми отверстиями, когда аэрация потока составляет порядка 5%...30%;

– опыт пропуска паводковых расходов через водосброс гидроузла Да Чао Шан показал высокую эффективность работы быков с расширенной кормовой частью, сочлененной с носком-уступом. Такая конструкция водосброса позволила сэкономить строительные материалы, ускорить темпы возведения и снизить сметную стоимость строительства гидроузла [2].

Всесторонняя проработка вариантов конструктивного оформления быков с расширенными кормовыми частями позволила выбрать из многообразия конструкций два основных варианта, получивших свои наименования в зависимости от плановой картины косых волн, возникающих за обтекаемыми кормовыми частями быков. Одна из конструкций получила название (Y) игрек-образный бык, а другая - (X) икс-образный бык (рисунки 4 и 5) [2].

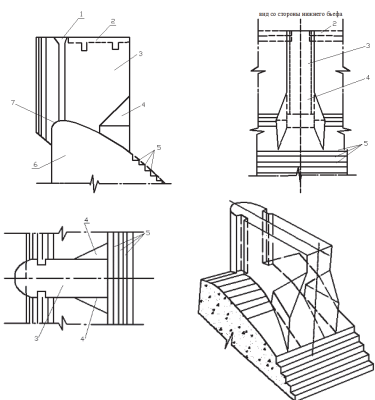


Рис. 4. Бык с «игрек-образным» кормовым расширением потока ниже быка: 1 - паз затвора; 2 - служебный мост (на двух проекциях показан пунктиром, на плане и изометрии условно не показан); 3 - тело быка; 4 - кормовое расширение нижней части быка; 5 - ступени на низовой сливной грани; 6 - тело водосбросной бетонной плотины; 7 - оголовок тела водосброса на его гребне

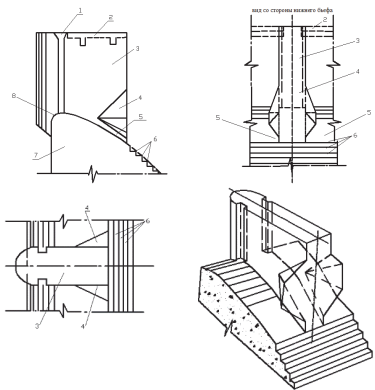


Рис. 5. Бык с «икс-образным» кормовым расширением потока ниже быка: 1 - паз затвора; 2 - служебный мост (на двух проекциях показан пунктиром, на плане и изометрии условно не показан); 3 - тело быка; 4 - кормовое расширение нижней части быка; 5 - проточные каналы, устроенные в нижней части кормового расширения; 6 - ступени на низовой сливной грани; 7 - тело водосбросной бетонной плотины; 8 - оголовок тела водосброса на его гребне

**Пример 3.** Самый крупный речной энергетический гидроузел в мире - «Три ущелья», построенный в Китае на третьей по длине в мире реке Янцзы и введенный в эксплуатацию на рубеже 21 века [3] (рисунок 6). Об идее строительства ГЭС в районе трёх ущелий на реке Янцзы говорил Сунь Ятсен ещё в 1918 году. Хроника современного строительства этого гидроузла такова: 1992 год - начало работ по сооружению ГЭС; 14 мая 1994 года - начало строительства гравитационной бетонной плотины; 20 мая 2006 года - закончено

строительство плотины, его максимальная высота плотины 181 м; 7 декабря 2007 года - ввод в действие 20-го гидроагрегата, мощность станции достигла 14,1 ГВт; август 2008 года - окончание строительства приплотинного здания ГЭС. С введением в эксплуатацию 26-го агрегата станции ее мощность достигла 18,2 ГВт. 29 октября 2008 года - запущены все 26 гидрогенераторов основных наземных зданий ГЭС. В 2011 году осуществлен ввод в эксплуатацию подземного здания ГЭС и окончание строительства судоподъёмников. 4 июля 2012 года - официально объявлено о полном завершении строительства и вводе в эксплуатацию последнего 32-го энергоблока гидроузла. С введением 32-го агрегата гидростанция достигла мощности 22,5 ГВт [3].

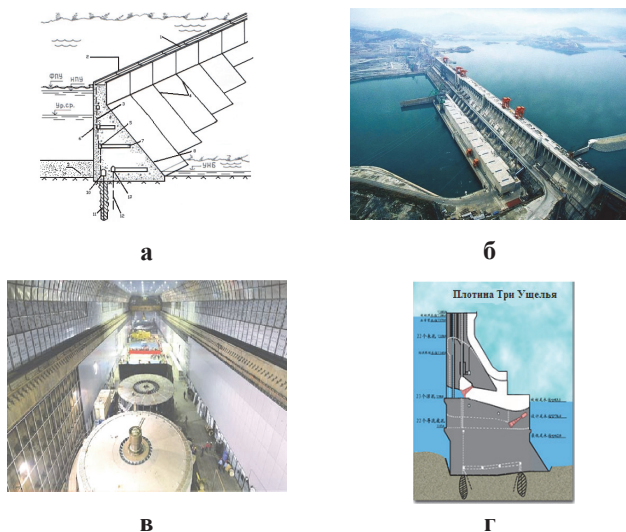


Рис. 6. Гидроузел «Три ущелья» [3]: **а** - конструктивная схема бетонной плотины и её элементы: 1 - гребень плотины; 2 - парапет; 3 - дренаж тела; 4 - деформационные швы; 5 - продольная смотровая галерея; 6 - верховая грань; 7 - поперечная галерея; 8 - низовая грань; 9 - наносы; 10 - инъекционная галерея; 11 - противодиффузионная завеса; 12 - дренажные скважины в основании; 13 - дренажная галерея; **б**: снимок гидроузла «Три ущелья»; **в**: снимок ГЭС; **г**: глубинная водосброс гидроузла «Три ущелья»

**Пример 4.** В ближайшем будущем мы должны стать свидетелями интенсивного международного сотрудничества между КНР и РФ в области эффективного управления водными ресурсами, а также возможного строительства гидротехнических сооружений и объектов инженерной защиты в бассейне реки Амур. Катализатором этих процессов стало крупнейшее в истории дальневосточного региона амурское наводнение 2013 года. В КНР в зоне затопления оказались почти 3,5 миллиона человек [4, 5], китайская сторона понесла убытков более чем на 1,3 млрд долларов [4, 5]. Российскому Дальнему Востоку наводнение нанесло также многомиллиардные убытки.

Известно, что самое большое влияние на гидрологический режим Амура в районе города Хабаровск, помимо левобережной Зеи (30%), оказывают китайские притоки этой реки - Сунгари (25%) и Уссури (10%). То есть существенная часть речного стока формируется на территории КНР (35%). В наводнение 2013 года уровень воды в Амурской области и Хабаровском крае достиг рекордного уровня за целый век [4, 5]. При этом по заявлению китайских специалистов гидротехнические сооружения КНР на правобережных притоках Амура уже исчерпали резервы по регулированию стока и при подобных наводнениях на территории соседей может сложиться критическая ситуация по сдерживанию водных потоков Амура [4, 5]. Это и стимулирует развитие интенсивного российско-китайского сотрудничества в области управления водными ресурсами и гидротехнического строительства в бассейне Амура.

#### **Выводы:**

1. Необходимо изучать и применять в современной практике гидротехнического строительства, в том числе тысячелетний опыт китайских инженеров-гидротехников по возведению гидротехнических сооружений с повышенным уровнем безопасности и сегодня эффективно работающих по предупреждению чрезвычайных ситуаций на водных объектах.
2. Модернизация конструкции водосбросных сооружений, в том числе ступенчатых водосбросов, повышает безопасность таких водопропускных

гидротехнических сооружений. Расширение кормовой части быков на гребне ступенчатой водосливной грани водосброса, сопрягающейся с носком-уступом, позволяет видоизменить общую картину течения потока в зоне быка, преобразовать поток из двухмерного в трехмерный, интенсифицировать процессы аэрации и гашения избыточной энергии потока, а также снизить кавитационную опасность в области бетонных поверхностей быков и сливной низовой грани.

3. КНР демонстрирует успешный опыт строительства крупнейших в мире и безопасных с точки зрения их эксплуатации гидроузлов, использование которого полезно для реализации важных гидротехнических проектов в Сибири и на Дальнем Востоке.

4. В ближайшем будущем наиболее важной темой международного сотрудничества специалистов-гидротехников из КНР и РФ станет их взаимодействие в области управления водными ресурсами амурского региона и строительства гидротехнических сооружений, в том числе инженерной защиты, с целью повышения уровня безопасности дальневосточной водохозяйственной системы и предупреждения чрезвычайных ситуаций на водных объектах.



**НОВЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРОЙСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
КОСОНАПРАВЛЕННЫХ ДОННЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПОРОГОВ  
В СОСТАВЕ БЕСПЛОТИННЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ ГИДРОУЗЛОВ  
НА МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕКАХ**

*А.В. Кловский, инженер, аспирант, Д.В. Козлов, доктор технических наук, профессор*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Россия*

*В статье изложены обновленные рекомендации по устройству и эксплуатации косонаправленных донных циркуляционных порогов в составе бесплотинных водозаборных гидроузлов на малых горных реках.*

*In the article stated the updated recommendation on the designing and exploitation of oblique bottom circulation thresholds as part of damless intake hydroshemesat small mountain rivers.*

Задачи гарантированного обеспечения водными ресурсами населения и различных отраслей экономики страны относятся к числу приоритетных направлений Водной стратегии Российской Федерации до 2020 года [1], в которой одним из основных критериев оценки качества подаваемой потребителям воды является минимально возможное содержание в ней различных загрязнителей, в том числе завлеченных в магистральные каналы водохозяйственных систем русловых наносов.

Несмотря на обширный научный базис данного вопроса, полностью решить проблему борьбы с наносами при отборе части речного потока на водозаборных гидроузлах пока не удалось. Данное обстоятельство объясняется, с одной стороны, сложностью достоверной оценки и учета характера трансформации потока при его делении, а, с другой стороны, - отсутствием в научной литературе однозначности в рекомендациях по устройству и эксплуатации различных типов противонаносных элементов в составе водозаборов. В этой связи разработка новых и совершенствование существующих компоновочных схем и отдельных конструктивных решений для элементов

водозаборных гидроузлов, а также методов их устройства и эксплуатации с целью надежной защиты водоприемников от завлечения вредных наносов, приобретает важное научное и инженерно-техническое значение[2].

Проведенный анализ эффективности компоновочных схем бесплотинных водозаборов показал, что на реках с тяжелыми гидрологическими и наносными режимами, к числу которых относятся водотоки горно-предгорной зоны, хорошо себя зарекомендовали косонаправленные донные циркуляционные пороги (донные КЦП) конструкции Г.В. Соболина – И.К. Рудакова [3]. Предложенная этими авторами конструкция донного порога, эффективно перераспределяя удельные расходы по ширине подводящего русла, способствовала возбуждению в потоке искусственной поперечной циркуляции (ИПЦ), которая наряду с защитными винтовыми течениями в створе преграды изменяет характер движения наносов в зоне влияния защищаемого водозаборного сооружения в нужном для практики направлении.

Необходимо отметить, что существующие рекомендации по проектированию и эксплуатации косонаправленных донных циркуляционных порогов носят весьма противоречивый характер [4]. Принципиальным здесь является вопрос назначения рациональных планово-геометрических характеристик донных преград с точки зрения формирования ими в потоке всех типов защитных течений требуемой интенсивности. Данное обстоятельство относится к выбору оптимального угла установки порога к береговой линии (по Г.В. Соболину  $\beta = 15^\circ \dots 30^\circ$ , по В.С. Бондаренко  $\beta = 40^\circ \dots 50^\circ$ , по В.А. Шаумяну  $\beta = 15^\circ \dots 90^\circ$ ) и определению требуемой величины стеснения потока  $n$  (согласно рекомендаций В.А. Шаумяна и А.С. Образовского).

С учетом вышесказанного нами в лаборатории кафедры Гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева были проведены модельные гидравлические исследования условий работы косонаправленных донных циркуляционных порогов, в рамках которых:

а) выявлен действительный характер взаимодействия донных КЦП сводным русловым потоком, недеформированным отводом, в зависимости от

планово-геометрических характеристик преграды и экспериментального гидравлического режима ее работы на физической модели с неразрываемым руслом;

б) изучены качественная и количественная картины взаимодействия донных КЦП с водным потоком в ходе лабораторных исследований гидравлических и наносных условий работы противонаосных элементов на размываемой модели водозаборного гидроузла на малой горной реке (III группы) в условиях бесплотинного отбора воды с коэффициентом водозабора  $\alpha = 0,1...0,2$ ;

Результаты выполненных авторами исследований в широком диапазоне граничных условий подробно изложены в работах [5-10].

Полученные в ходе лабораторных исследований качественная и количественная картины взаимодействия бесплотинного водозаборного гидроузла исследуемой конструкции с модельным потоком позволили определить оптимальный диапазон углов установки донных циркуляционных порогов к береговой линии ( $\beta = 15^\circ...45^\circ$ ). Эксперименты показали, что устройство донных циркуляционных порогов с  $\beta = 45^\circ$  позволяет без снижения наносозащитных функций преграды добиться значительного уменьшения длины порога относительно ранее рекомендованных углов  $\beta = 15^\circ...30^\circ$ [3].

Кроме того, на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований уточнены рекомендации [11] по устройству и эксплуатации косонаправленных донных циркуляционных порогов в составе бесплотинных водозаборных гидроузлов на малых горных реках, позволяющие обосновать надежные и экономически эффективные проектные решения для таких водозаборов.

В соответствии с рекомендациями [11] угол отвода потока  $\varphi$  выбирается исходя из конкретных условий существования проектируемого узла. Такугол отвода следует назначать больше  $90^\circ$  ( $\varphi > 90^\circ$ ), если сооружение длительные периоды будет работать в режиме водообмена, а минимальные уровни реки при

этом надежно гарантируют расчетные заборы; при необходимости получения минимальных потерь на входе угол отвода должен быть меньше  $90^\circ$ .

В общем случае угол отвода потока принимается равным  $90^\circ$  ( $\varphi = 90^\circ$ ), так как при таком взаимном расположении водотока и отвода режим работы водозаборного сооружения может плавно меняться в зависимости от изменения уровней воды в реке, что обеспечивает его безнаосную эксплуатацию в тяжелых гидравлических и наносных условиях. Вместе с тем устройство отвода под углом  $\varphi = 90^\circ$  к водотоку несколько удешевляет строительство ввиду сокращения затрат на подготовительные и строительно-монтажные работы.

По рекомендациям [9] необходимая ширина водоприемного фронта  $b$  определяется подбором из формулы расхода через подтопленный водослив с широким порогом

$$Q_b = \varepsilon \cdot \varphi \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \quad (1)$$

где  $Q_b$  – величина забираемого из реки расхода;  $\varepsilon$  – коэффициент бокового сжатия;  $\varphi$  – коэффициент скорости;  $b$  – ширина водоприемного фронта (водоприемника);  $h$  – глубина воды в реке ниже отвода;  $z$  – потери напора на входе в отвод;  $g$  – ускорение свободного падения.

Значения  $\varepsilon$  и  $\varphi$  зависят от формы входного отверстия водоприемника и определяются в соответствии с рекомендациями [12]. Потери напора на входе в отвод могут быть оценены по зависимости В. С. Бондаренко [9]:

$$z = (1,21 - 0,21 \cdot \cos \varphi) \cdot V_k^2 / 2 \cdot g, \quad (2)$$

где  $V_k$  – скорость потока в отводящем русле; наиболее точные результаты формула дает при  $V_k \approx V_0$ .

Ширина водоприемника и ширина отводящего канала в большинстве случаев принимаются равными. Поэтому при определении ширины водоприемника  $b$  необходимо учитывать также гидрогеологические условия местности, тип и форму отводящего канала и пр. В первом приближении зависимость (2) позволяет достаточно точно определять значения  $b$ , необходимые для дальнейших расчетов.

Участки водотока выше и ниже по течению относительно корня циркуляционного порога на длину не менее  $20 \cdot H_0$ , рекомендуется устраивать зарегулированными с постоянной шириной  $B$  и вертикальными бортами или трапециевидными с шириной  $B$  по дну. В этом случае стабилизируется гидравлическая и кинематическая структура потока в зоне влияния водозаборного сооружения, искусственная поперечная циркуляция и защитные винтовые течения вдоль верховой и низовой грани проектируемого донного циркуляционного порога получают достаточное развитие, значительно облегчается определение требуемой величины стеснения потока.

Требуемый коэффициент водозабора  $\alpha$ , зависящий от соотношения отбираемого расхода  $Q_v$  и расхода водотока  $Q_p$ , определяется из условия гарантированного обеспечения потребителей водными ресурсами. Для бесплотинных водозаборных гидроузлов коэффициент водозабора не должен превышать 20%

$$\alpha = Q_v / Q_p \leq 0,20. \quad (3)$$

По известному коэффициенту водозабора  $\alpha$ , ширину водоприемного фронта  $b$  и ширину зарегулированного участка русла  $B$  можно определить требуемую величину стеснения (перекрытия) русла  $n$  наносозащитным порогом. Величину  $n$  рекомендуется находить по формуле А. С. Образовского

$$n = b_d / B = 1,17 \cdot \alpha + 0,468 \cdot b / B. \quad (4)$$

Анализ полученных нами экспериментальных данных показал, что использование зависимости (4) позволяет с достаточной для практических целей точностью определять величину стеснения потока исходя из условий обеспечения надежной защиты водоприемника от завлечения русловых наносов.

Наносозащитный порог рекомендуется устанавливать под углом  $\beta = 45^\circ$  к береговой линии. При данном расположении преграды получают достаточное развитие защитные функции формируемой в потоке искусственной поперечной циркуляции и винтовых течений вдоль верховой грани порога; кинематическая структура потока за порогом также способствует уменьшению процента

завлеченных в отвод наносов. Необходимо отметить, что устройство наносозащитных порогов с  $\beta = 45^\circ$  позволяет без снижения защитных функций преграды добиться значительного уменьшения длины порога в сравнении с ранее рекомендованными [8] углами установки порога  $\beta = 15^\circ \dots 30^\circ$ .

Зная требуемую величину стеснения русла  $n$ , ширину зарегулированного участка русла  $B$  и угол установки порога к береговой линии  $\beta$ , можно определить требуемую длину наносозащитного порога  $l_n$

$$l_n = n \cdot B / \sin \beta. \quad (5)$$

В соответствии с результатами наших исследований косо направленные донные циркуляционные пороги следует устраивать с уклоном верхней грани по течению  $i_n > 0$  и относительной высотой в средней части преграды  $P_{отн} = P_{cp} / H_o = 0,35 \dots 0,5$  во всем диапазоне колебания уровней воды в реке. Здесь  $P_{cp} = (P_n + P_k) / 2$  – высота донного циркуляционного порога в его средней части, равная полусумме высот порога в его начальной и конечной частях,  $H_o$  – средняя глубина бытового русла. При соблюдении данных рекомендаций порог работает как затопленная преграда, и защитные функции ИПЦ и винтовых течений в створе порога получают наибольшее развитие.

По известным максимальному и минимальному уровням воды в реке  $H_{o,max}$  и  $H_{o,min}$ , можно определить требуемую высоту донного циркуляционного порога в его средней части  $P_{cp}$

$$0,35 \cdot H_{o,max} \leq P_{cp} \leq 0,5 \cdot H_{o,min}. \quad (6)$$

Условие (6) соблюдается в том случае, если соотношение между максимальным и минимальным уровнями не превышает 1,428 во всем диапазоне колебания горизонтов воды в реке. На реках с резко переменными уровнями воды низовой борт водоприемного отверстия рекомендуется выполнять в виде вертикальной стенки, параллельной донному порогу [9].

Высота порога в его конечной части  $P_k$  в соответствии с рекомендациями [9] не должна быть меньше  $H_o / 6$ . Анализ полученных нами экспериментальных данных свидетельствует о том, что винтовое течение вдоль верховой грани

порога начинает разрушаться на участке порога с высотой  $P_x \leq 0,25$ . Поэтому рекомендуется устраивать пороги с  $P_k \geq 0,25 \cdot H_{0,max}$ .

Зная длину донного наносорегулирующего порога  $l_n$ , высоту преграды в ее средней и концевой частях ( $P_{cp}$  и  $P_k$  соответственно), высоту порога в его начальной части  $P_n$  можно определить как

$$P_n = 2 \cdot P_{cp} - P_k. \quad (7)$$

Уклон верхней грани порога определяется как

$$i_n = (P_n - P_k) / l_n. \quad (8)$$

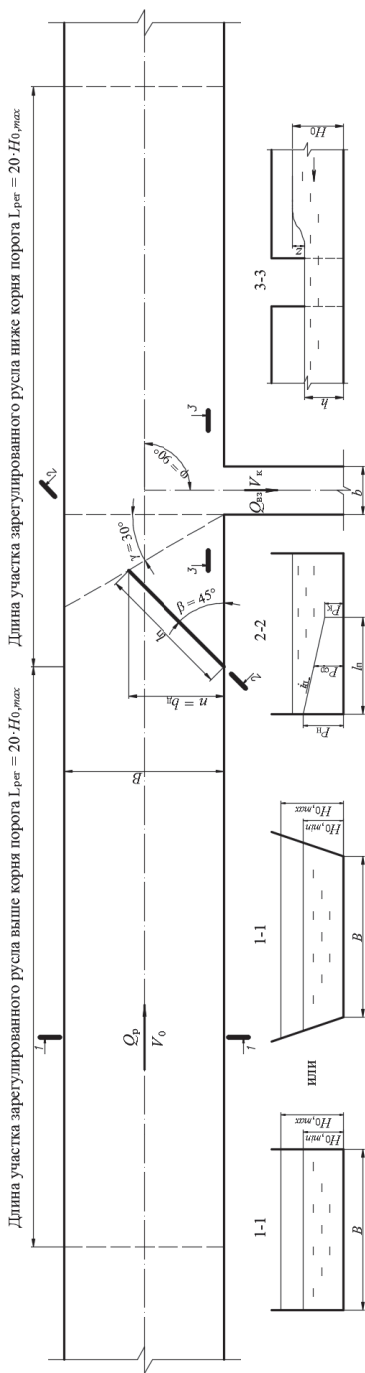
Концевой участок косонаправленных донных циркуляционных порогов рекомендуется располагать на луче, проведенном под углом  $\gamma = 30^\circ$  к верховому ребру водоприемника. Начальный участок порога (его корень) сопрягается непосредственно с берегом, от которого осуществляется забор воды.

В конструктивном отношении наносозащитный порог рекомендуется устраивать монолитным железобетонным с геометрическими характеристиками, определенными в соответствии с выше указанными рекомендациями.

При резко переменных уровнях воды в реке предпочтительно осуществлять водозабор переливом через шандоры, что должно дополнительно уменьшить процент завлеченных в отвод русловых наносов.

Обновленные рекомендации по проектированию и эксплуатации косонаправленных донных циркуляционных порогов в составе бесплотинных водозаборов на малых горных реках в графической форме представлены на рисунке 1.

Рисунок 1. Принципиальная компоновочная схема бесплотинного водозаборного гидроузла с донным КЩС на малой горной реке



Условные обозначения:  $Q_{р}$  – расход реки,  $Q_{вз}$  – величина отбираемого расхода,  $B$  – ширина подводящего русла по дну,  $b$  – ширина отвода,  $b_d$  – ширина захвата отводом донных линий токов,  $l_n$  – величина стеснения потока,  $l_n$  – длина донного циркуляционного порога,  $P_n$  – высота донного порога у берега, с которого осуществляется забор воды,  $P_{кр}$  и  $P_{кр}$  – высоты донного порога в средней и концевой частях соответственно,  $i_{гг}$  – уклон верхней грани порога,  $V_{кр}$  – средняя скорость потока в отводе,  $V_{0-}$  – средняя скорость реки,  $H_{0-}$  – средняя глубина воды в реке,  $H_{0,max}$  и  $H_{0,min}$  – средняя максимальная и средняя минимальная глубина воды в рекесоответственно,  $\beta$  – угол установки порога к береговой линии,  $\gamma$  – угол между лучами, проведенными от верхового ребра водоприемника к концевой части порога и противоположному берегу,  $\varphi$  – угол отвода потока,  $z$  – потери напора на входе в отвод,  $h$  – глубина воды в реке ниже отвода. порога и противоположному берегу,  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$ ,  $\gamma = 30^\circ$

$$n = b_d/B = 1,17 \cdot \alpha + 0,468 \cdot b/B P_{кр} = (P_n + P_{кр})/2$$

$$P_{кр} \geq 0,25 \cdot H_{0,max}$$

$$\alpha = Q_{вз}/Q_{р} \leq 0,20 l_n = n \cdot B / \sin \beta$$

$$Q_{0} = \varepsilon \cdot \varphi \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \rightarrow b, h 0,35 \cdot H_{0,max} \leq P_{кр} \leq 0,5 \cdot H_{0,min} P_n = 2 \cdot P_{кр} - P_{кр}$$

$$z = (1,21 - 0,21 \cdot \cos \varphi) \cdot V_0^2 / 2 \cdot g H_{0,max} / H_{0,min} \leq 1,428 \quad i_n = (P_n - P_{кр}) / l_n$$

$\varepsilon$  – коэффициент бокового сжатия,  $\varphi$  – коэффициент скорости, зависящие от входного формы входного отверстия водоприемника и определяемые в соответствии с рекомендациями [12]. Для предлагаемой компоновочной схемы водозаборного гидроузла значения  $\varepsilon$  и  $\varphi$  с приемлемой для практических расчетов точностью могут быть приняты равными 0,8 и 0,9, соответственно.



## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КИТАЙСКОЙ ГИДРОТЕХНИКИ

**Нань Фэн, аспирант, Журавлева А.Г., профессор, кандидат техн. наук  
ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА»,  
г. Москва, Россия**

*Статья представляет собой сведения о развитии гидротехнического строительства Китая последних десятилетий включая самое последнее время. На примерах показана динамика развития и перспективы гидротехнического строительства для растущей экономики страны. Представлены примеры гидротехнических сооружений Китая и их моделей для научных исследований.*

*The article presents information on the development of hydraulic engineering construction of China recent decades including the most recent. The examples shows the evolution of development and prospects of dam construction for the country's growing economy. Examples of hydraulic structures of China and their models for scientific research.*

Анализ современных мировых тенденций в проектировании и строительстве гидротехнических сооружений свидетельствует об интенсивном строительстве средне- и высоконапорных гидроузлов. Китай имеет самый большой потенциал гидроэнергетики в мире. Более 17% общего объема производства электроэнергии в Китае поставляется гидроэнергетикой. В 1999 году в Китае были введены в эксплуатацию 24 гидроэнергетических генерирующих блоков общей мощностью более 5300 МВт в 1999 году. При этом увеличилась установленная мощность гидроэлектростанций на 8,3% до почти 70000 МВт, на начало 2000 года. В 2007 г. Китай произвел около 430 миллиардов кВт.ч. гидроэлектрической энергии и страна была крупнейшим производителем гидроэнергии в мире в этом же году. По состоянию на 2008 год Китай имел общую установленную мощность 170 ГВт всех крупных и средних гидроэлектростанций. Для удовлетворения растущего спроса со стороны предприятий и частных потребителей Китай планирует увеличивать электрическую мощность на (8 - 9) % в год. В обнародованной энергетической стратегии Китая говорится о потенциале китайских рек генерировать 542 ГВт мощности. Поставлена цель - к 2020-му году увеличить генерацию

электроэнергии в Китае с 1060 ГВт (2011 г.) до 1500 ГВт, одновременно уменьшая потребление угля на ТЭЦ и импорт дорогого природного газа.

В Китайской Народной Республике в 1949-1980 гг. Было построено 16 крупных гидроэлектростанций, некоторые гидроэлектростанции средней крупности (мощностью около 25...250 МВт.), плотины которых имели высоту более 70 м (44 гидроузла) [1].

В 1980-2000 гг. были построены 371 плотина. Плотины высотой более 75 м практически все выполнены бетонными, из 36 таких плотин 30,6% - это гравитационные плотины, 25% - арочные [1]. Количество плотин высотой более 150 м - 9, объемы водохранилищ таких гидроузлов составляют 25...30 млрд. м<sup>3</sup>, количество плотин высотой более 100 метров - 23. На 19 гидроэлектростанциях, имеющих общую мощность выше 1000 МВт и мощность одного гидроагрегата 200...400 МВт, турбины изготавливались в Китае, а в других случаях были заказаны в других странах. В таких гидроузлах высота плотин в среднем составляла 150...200 м, максимальная высота некоторых плотин была более 200 м, например плотина гидроузла Эр Тань (построена в 1999 г.) имеет высоту 240 м (рисунок 1) [3].

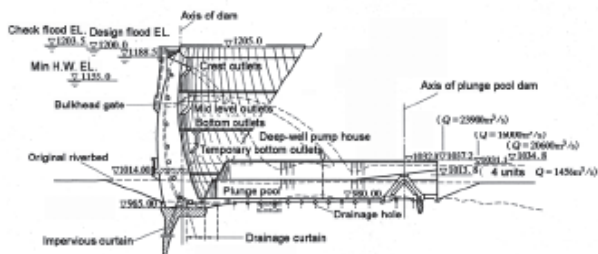


Рис. 1. Фото гидроузла Эр Тань и конструкция арочной бетонной плотины

Плотина Тянь Шэн Чяо (построена в 2000 г.) высотой 178 м - каменно набросная с железобетонным экраном (рисунок 2), плотина Сяо Лан Ди (построена в 2000 г.) высотой 154 м - каменно насыпная с ядром, объем грунта 4900 млн. м<sup>3</sup>, противофильтрационная цементационная завеса имеет глубину 80 м (рисунок 3) [3]. Контрфорсные плотины в Китае не получили широкого распространения, но в 1996 г. была построена контрфорсная плотина Ху Нань Чжэнь высотой 129 м, выполненная по индивидуальному проекту (рисунок 4) [1].

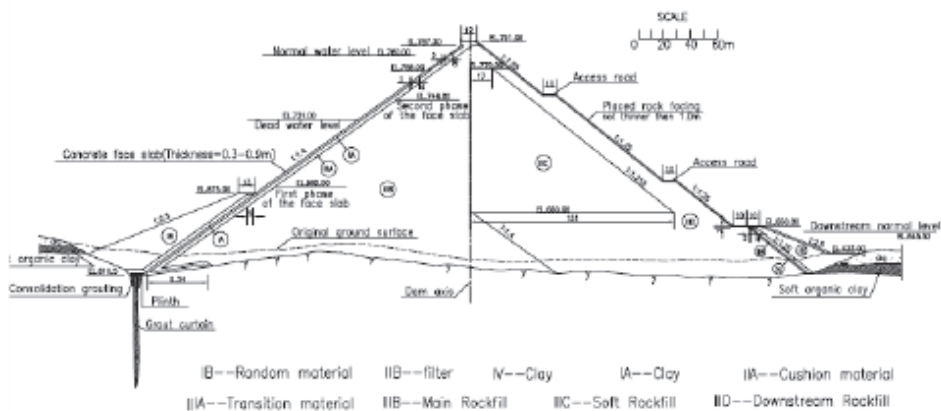


Рис. 2. Фото гидроузла Тянь Шэн Чяо и конструкция грунтовой плотины

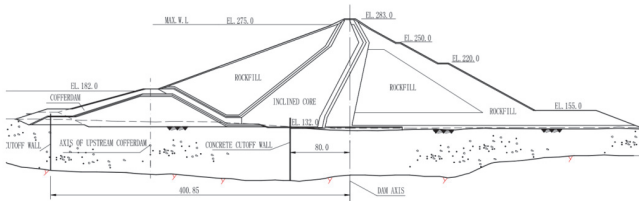
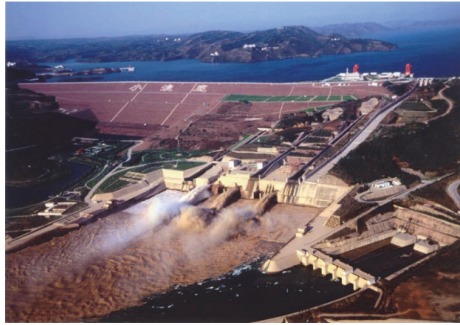


Рис. 3. Фото гидроузла Сяо Лан Ди и конструкция грунтовой плотины

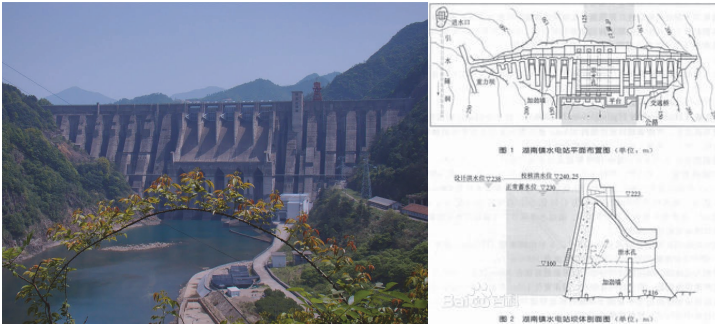


Рис. 4. Фото гидроузла Ху Нань Чжэнь и конструкция контрфорсной бетонной плотины

За последние 15 лет (с 2000 г.) в КНР было построено большое количество бетонных плотин высотой более 200 метров, в том числе Си Ло Ду высотой 273 м, Лун Тань высотой 216,5 м, Сяо Вань высотой 292 м. В процессе завершения строительства находится гидроузел Цзинь Пин (рисунок 5) с арочной плотиной 205 м, которая будет самой высокой в мире.



Рис. 5. Фото гидроузла Цзинь Пин с арочной бетонной плотиной

В основном китайские гидроузлы предназначены для целей энергетики, водоснабжения, ирригации и борьбы с паводками. Практически на всех современных средне- и высоконапорных гидроузлах актуальной является проблема гашения избыточной энергии потока. При этом на высоконапорных водосбросах в пределах проточного тракта возникают такие нежелательные явления как вибрация элементов конструкций под действием гидродинамических нагрузок, кавитационные разрушения, раскрытие деформационных швов, образование трещин и др. Отмечается снижение надежности концевой участка водосброса в результате диссипации значительного количества энергии на водосбросном фронте. Поэтому требуются дорогостоящие мероприятия, направленные на предупреждение и устранение вышеуказанных явлений, в том числе на повышение коэффициента армирования и класса бетона, улучшение качества укладки бетона, повышение прочности последнего. Все это приводит к существенному увеличению сметной стоимости строительства гидротехнических сооружений, но обеспечивает надежность сооружений [1].

Для обоснования проектных решений большое значение имеет научное сопровождение проектов, под которым в гидротехнике понимается проведение исследований и специальных расчетов с целью определения и обоснования размеров и компоновки сооружений, учета особенностей протекания потока и уточнения других факторов, влияющих на принятие проектных решений.

К научному сопровождению необходимо прибегать при проектировании гидроузлов на крупных реках или если сооружения будут эксплуатироваться в сложных климатических, ситуационных и прочих условиях, которые трудно учитывать с помощью известных формул, используемых при проектировании. Результаты исследований позволяют проектировщикам более обоснованно принимать те или иные технические решения.

Научное сопровождение выполняется специализированными организациями, у которых есть лаборатория, измерительная аппаратура, вычислительная техника и кадры, которые имеют соответствующую квалификацию. В Китае имеется несколько научных организаций, которые проводят исследования, один из них - Хэ Хай университет. Основным методом исследований задач при проектировании является моделирование гидравлических и других явлений и перенос полученных данных в натурные условия. Моделирование подразделяют на физическое и математическое.

**Физическое моделирование.** Физическая модель представляет собой лабораторную установку (гидравлический лоток, русловую площадку, воздушно-напорную установку и др.), на которой могут быть воспроизведены в уменьшенном масштабе исследуемые процессы, протекающие в натуре. На рисунках 6 и 7 представлены физические модели в лаборатории *China Institute of Water Resources and Hydropower Research* (Китайский институт исследований водного хозяйства и гидроэнергетики) [4].



Рис. 6. Исследование регулирования русел за водозабором на модели



Рис. 7. Исследование гидротехнического туннеля на модели

**Математическое моделирование.** Математической моделью называется математическое описание (с помощью формул дифференциальных и интегральных уравнений и т.п.) изучаемого явления. С развитием вычислительной техники все большее внимание уделяется математическим моделям, на которых реализуются заданные системы уравнений с помощью последовательного выполнения математических операций.

Сравнительный анализ возможностей применения физического и математического моделирования показывает, что каждый из видов моделирования имеет свои достоинства и недостатки. Результаты, полученные на физических моделях, обычно справедливы в относительно небольшом диапазоне изменения физических условий. Основная трудность при проведении физического моделирования связана с удовлетворением критериев подобия и пересчете опытных данных в натуру.

**Использование численных методов для расчета прочности сооружений.** В последнее время расчеты прочности и устойчивости бетонных плотин выполняются с помощью программных комплексов, использующих метод конечных элементов. К наиболее известным программам, которые разработаны во многих странах мира, относятся COSMOS/M (США), ANSYS (США), Z-Soil (США), MARC (США), ADINA (США), и др. В Китае широкое распространение получил программный комплекс РКРМ (рисунок 8) для проектирования строительных объектов.

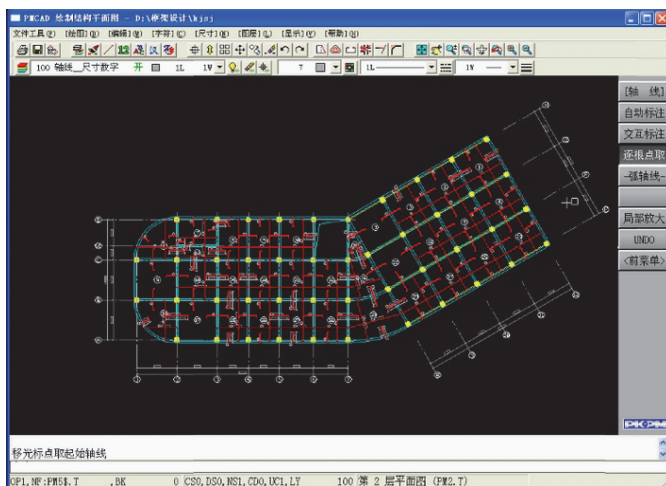


Рис. 8. Проектирование боковой стенки водосброса

На рисунках 9 и 10 представлены результаты моделирования температурных напряжений в бетонной гравитационной плотине Нун Лин (провинция Юй Нань) методом конечных элементов. Расчет выполнялся с помощью программы FZFX3D, разработанной в университете «Три ущелья» (КНР). Область моделирования глухой часть плотины разбивалась на 17873 элементов, расчет проводился для 20958 точек [2].

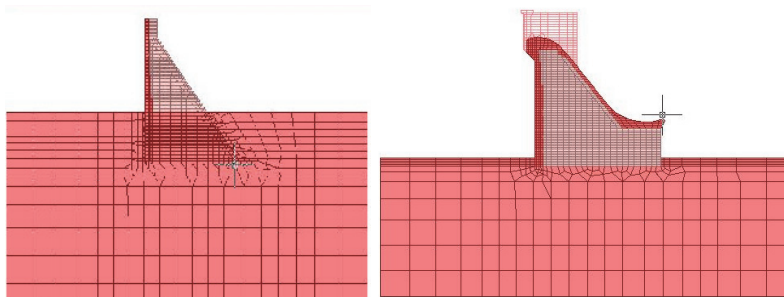


Рис. 9. Разбивка глухой и водосбросной частей плотины Нун Лин на конечные элементы



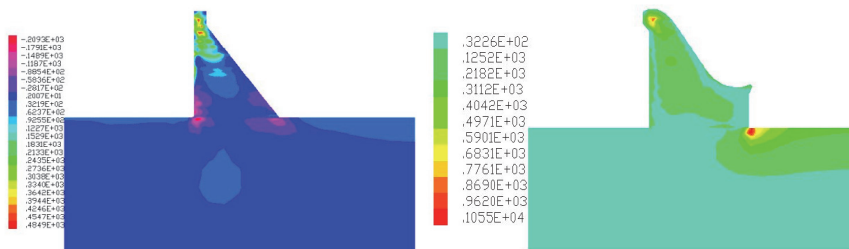


Рис. 10. Результаты расчета температурных напряжений в глухой и водосборной частях плотины Нун Лин

### Выводы:

В последние десятилетия в Китае развернулось строительство большого количества гидротехнических сооружений (гидроузлов) в основном для обеспечения электроэнергией растущей экономики страны и для борьбы с наводнениями, которые имеют сокрушительные последствия для населения и окружающей среды, приносят большие убытки. Руководство Китая принимает решение развивать гидроэнергетику как альтернативу строительству АЭС и ТЭЦ. Благодаря широко применяемым методам исследований - физического и математического моделирования Китайская гидротехника добилась высоких результатов, свидетельством которых являются самые уникальные гидротехнические сооружения, как по высоте, так и по мощности гидроэлектростанций.

## НАНОСЫ И ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

*В.С.Вербицкий*

ФБГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н.Костякова»

г. Москва, Россия, ул. Большая Академическая, д.44

e-mail: verb37@mail.ru

### **Аннотация:**

В рамках обобщенной теории турбулентной диффузии рассматриваются средние скорости, времена, длины попеременного движения вверх и вниз взвешенных частиц наносов различной крупности, а также частиц-индикаторов и жидких частиц в равномерных спокойных широких открытых потоках. Совместное траекторное описание движения частиц наносов и жидких частиц позволяет объединить теории движения наносов и турбулентности, дать наглядное геометрическое представление о едином характере этого движения, определить предельную статистическую и траекторную гидравлические крупности взвешенных наносов.

**Ключевые слова:** наносы, турбулентность, диффузия, движения вверх-вниз.

*In the framework of the generalized theory of turbulent diffusion are considered average speed, time, length alternative upward and downward motion of suspended particals in a uniform, calm, wide open flows. Joint trajectory description the motion of particles allows to integrate the theory of the movement of sediments and turbulence, to give a visual geometric representation of a unit character of this movement, to determine the limit for statistical and trajectory hydraulic size of suspended sediments.*

**Key words:** sediments, turbulence, diffusion, movement up and down

В теориях турбулентности и движения наносов имеется два основных похода к описанию явлений: эйлеров и лагранжев. В эйлеровом подходе рассматриваются величины в точке – средняя скорость и мутность, пульсации скоростей и мутности, различные корреляции пульсаций скоростей и мутности.

В лагранжевом подходе рассматриваются траектории частиц, определяются различные временные корреляции пульсаций и их интегралы (равные соответствующим коэффициентам турбулентной диффузии). Эйлеров «точечный» подход наиболее распространен как для лабораторных, так и для натуральных условий. Лагранжев «траекторный» подход более трудный, менее

распространенный и сравнительно редко используемый. Вместе с тем его результаты (например, коэффициент диффузии) представляет интерес и для эйлеровой теории турбулентной диффузии.

Предельная гидравлическая крупность взвешенных наносов  $w_{np}$  определяет длины различных гидротехнических отстойников. Для частиц взвешенных наносов с гидравлической крупностью  $w$  считается, что их вертикальная скорость  $V_z$  связана с вертикальной скоростью жидкости  $u_z$  соотношением  $V_z = u_z - w$ . А.В. Караушев [4] с учетом этого соотношения и на основе ряда опытных данных о том, что в равномерных турбулентных потоках случайная величина  $u_z$  распределена по нормальному закону с нулевым средним и дисперсией  $\sigma_u^2$ , по правилу  $3\sigma$  нашел, что  $w_{np} \cong 3\sigma_u \cong 3u_*$ . Динамическая скорость широкого равномерного потока с глубиной  $H$  и уклоном дна  $i$   $u_* = \sqrt{gHi}$ . По А.С. Образовскому [8]  $w_{np} \approx \sigma_u \approx u_*$ . По Х.Ш.Шапиро [10] при размыве дна взвешенные частицы движутся вверх со скоростью  $0,3u_* - w$ , соответственно,  $w_{np} = 0,3u_*$ . Во всех случаях считается, что в турбулентных потоках частицы с  $w \geq w_{np}$  вертикальными пульсациями скорости жидкости не взвешиваются, т.е. не поднимаются вверх, а выпадают из толщи потока на дно со скоростью, равной их гидравлической крупности. И в практическом, и в физическом планах «порядковое» различие крайних оценок величины  $w_{np}$  делает целесообразным детальное траекторное рассмотрение характера движения взвешенных частиц наносов под действием пульсаций скорости жидкости в равномерных спокойных потоках.

В ряде работ автора [1,2] рассмотрение движения взвешенных частиц проведено на основе обобщенной теории диффузии. Для частиц с гидравлической крупностью  $w > 0$  в уравнениях теории фигурируют ее аналитические замыкания: средние скорости и времена движения частиц вверх и вниз  $\pm V_w^\pm$ ,  $T_w^\pm$ . Для частиц – индикаторов и жидких частиц с  $w=0$ ,  $V_0^\pm = V_0$ ,  $T_0^\pm = T_0$ . Основное отличие обобщенной теории турбулентной диффузии от обычной теории диффузии заключается в следующем. В рамках плоской задачи

в обобщенной теории четко фиксируются верхний и нижний фронты облака мутности, которые движутся вверх и вниз со скоростями  $V_w^+$  и  $V_w^-$ . Поэтому обобщенную теорию называют также теорией диффузии с конечной скоростью.

В рамках плоской задачи использование обобщенной теории основано на задании эпюры средней скорости  $\bar{u}_x(z)$  и средней квадратичной величины пульсаций вертикальной скорости жидкости  $\sigma_u(z)$ . Для обычно используемой логарифмической эпюры скорости коэффициент турбулентной вязкости  $K_z = \alpha u_* H \eta (1 - \eta)$ , где  $\eta = \frac{z}{H}$ ,  $\alpha$  – параметр Кармана, стандартное значение которого принимается равным  $\alpha = 0,4$ .

По опытным данным И.К.Никитина [7] в спокойных равномерных потоках  $\frac{\sigma_u(\eta)}{u_*} = \frac{0,7 \eta(\eta^2 - 2\eta + 2)}{\eta + 0,036} = \Psi(\eta)$ . Для нормального закона распределения значений случайной скорости  $u_z$  среднее абсолютное значение этой скорости  $\frac{V_0(\eta)}{u_*} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \Psi(\eta) = 0,8 \Psi(\eta) = \Psi_1(\eta)$ . Величина  $V_0$  определяет отдельно средние значения положительных и отрицательных значений  $u_z$ , т.е. средние скорости движения вверх и вниз жидких частиц и частиц-индикаторов  $V_0^\pm = V_0$ . В придонной области  $0 \leq \eta \leq 0,18$  величины  $\sigma_u(\eta)$ ,  $V_0(\eta)$  возрастают от нуля, достигают максимума при  $\eta = 0,18$ , а затем начинают убывать,  $\sigma_u(0,18) = 1,05 u_*$ ,  $\sigma_u(1) = 0,7 u_*$ .

Ряд авторов, например, А.Г. Хачатрян, Х.Ш. Шапиро используют упрощенное описание течения: продольная скорость открытого потока считается постоянной по всей глубине и равной ее среднему значению  $U$ . Продолжая этот традиционный подход, будем считать, что при гидравлической стилизации рассматриваемого течения, переменные по вертикали величины  $K_z(\eta)$ ,  $\sigma_u(\eta)$ ,  $V_0(\eta)$  можно заменить их средними по глубине значениями  $K_z = \frac{\alpha}{6} H u_*$ ,  $\frac{H u_*}{15}$ ,  $\sigma_u = 0,9 u_*$ ,  $V_0 = 0,72 u_*$ . В физическом плане эта замена означает замену реального неоднородного по вертикали поля турбулентности вертикальной скорости идеализированным однородным. Такая замена в свою очередь позволяет достаточно просто определить замыкания обобщенной теории.

В фиксированной точке турбулентного потока вертикальная случайная эйлерова скорость жидкости является функцией времени  $u_z(t)$ . В те случайные промежутки времени, в течение которых  $u_z(t) > w$ ,  $V_z(t) > 0$ , взвешенные частицы в этой точке движутся вверх, когда  $u_z(t) < w$ ,  $V_z(t) < 0$  частицы движутся вниз. Описанные ситуации это выбросы случайной функции  $u_z(t)$  выше и ниже уровня  $w$ . Средние высоты этих выбросов определяют величины  $\pm V_w^\pm = \overline{(u_z - w)^\pm}$ . В силу коррелированности значений случайной функции  $u_z(t)$  по вертикали в фиксированный момент времени  $t$  выбросы функции  $u_z(z)$  выше и ниже уровня  $w$  определяют средние вертикальные размеры жидких молей  $l_w^\pm$ , переносящих частицы наносов вверх и вниз. Средние времена существования этих молей  $\tau_w^\pm$  определяются продолжительностью выбросов случайной вертикальной лагранжевой скорости жидких частиц  $u_z^L(t)$  выше и ниже уровня  $w$ .

На основе опытных данных можно считать, что эйлерова вертикальная скорость как функция вертикальной координаты, а лагранжева вертикальная скорость жидкости как функция времени, являются нормальными случайными процессами (однородным и стационарным). В этих процессах не только значения скоростей  $u_z$ ,  $u_z^L$ , но и значения их производных по  $z$  и  $t$  распределены по нормальному закону. Тогда по известным формулам теории выбросов случайных процессов находятся величины  $V_w^\pm$ ,  $l_w^\pm$ ,  $\tau_w^\pm$ . Частицы наносов переносятся вверх (вниз) жидкими молями до того момента, когда или сам моль распадется, или поменяет направление своего вертикального движения, т.е. в среднем в течение промежутка времени  $\tau_w^\pm$ , или до того момента, когда в силу относительного движения в моле со скоростью  $w$ , частица выпадает из моля в среднем в течение промежутка времени  $\frac{l_w^\pm}{w}$ . Эти два события независимы и величины  $T_w^\pm$  определяются как минимум времен этих событий. Тогда  $\frac{1}{T_w^\pm} =$

$$\frac{1}{\tau_w^\pm} + \frac{w}{l_w^\pm}. \text{ В результате в работе автора [1] получено } \frac{V_w^\pm}{V_0} = \frac{\exp\left(-\frac{w_0^2}{\pi}\right)}{1 \mp \operatorname{erf}\left(\frac{w_0}{\sqrt{\pi}}\right)} \mp w_0 =$$

$f_V^\pm(w_0), \frac{T_w^\pm}{T_0} = \frac{\exp\left(\frac{w_0^2}{\pi}\right) \cdot [1 \mp \operatorname{erf}\left(\frac{V_0}{\sqrt{\pi}}\right)]}{1+w_0} = f_T^\pm(w_0), \operatorname{erf}\left(\frac{w_0}{\sqrt{\pi}}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{w_0} \exp(-u^2) du$ . Средние длины движения частиц вверх-вниз с гидравлической крупностью  $w$

$$\frac{L_w^\pm}{L_0} = \frac{V_w^\pm T_w^\pm}{V_0 T_0} = f_L^\pm(w_0) = f_V^\pm(w_0) \cdot f_T^\pm(w_0).$$

Величина  $T_0$  это средний промежуток времени между нулями случайной вертикальной лагранжевой скорости жидкости. Аналогично, величина  $L_0 = V_0 T_0$  есть среднее расстояние по вертикали между этими нулями. Величины  $T_0, L_0$  в поле однородной по вертикали турбулентности есть средние времена и средние длины движения жидких частиц вверх и вниз.

Безразмерная величина  $w_0 = \frac{w}{V_0}$  определяет отличие кинематики весоных взвешенных частиц от кинематики невесоных и жидких частиц и поэтому в работе [1] названа кинематической крупностью. Все вышеприведенные формулы скоростей, времен и длин движения частиц вверх-вниз применимы и для поля неоднородной по вертикали турбулентности, в котором величина  $w_0(z) = \frac{w}{V_0(z)} = \frac{w}{u_* \Psi_1(\eta)}$  непостоянна и изменяется по глубине. Поэтому дополнительно к величине  $w_0$  необходимо ввести постоянную по глубине безразмерную величину динамической крупности  $w_* = \frac{w}{u_*}$ , (иногда называемую числом Рауза). В рассматриваемом поле однородной турбулентности величины  $w_0$  и  $w_*$  пропорциональны  $w_0 = \frac{w}{0,72u_*} = 1,39 w_*$ . В таком поле во всех вышеприведенных формулах аргумент кинематической крупности может быть заменен на аргумент динамической крупности, имеющий тот же физический смысл. Величины  $w_0, w_*$  можно трактовать также как отношения действующих на частицу с  $w > 0$  силы тяжести (за исключением силы Архимеда), которая направлена вниз, и взвешивающей «силы» турбулентности, направленной вверх. Вертикальный коэффициент турбулентной диффузии частиц с  $w > 0$

$$K_w = \frac{L_w^+ L_w^-}{T_w^+ + T_w^-} = 2 \frac{f_L^+ \cdot f_L^-}{f_T^+ + f_T^-} \cdot K_0 = f_K K_0 \approx \frac{K_0}{1+w_0}.$$

Для жидких частиц и частиц - индикаторов коэффициент  $K_0 = \frac{V_0^2 T_0}{2} = \frac{V_0 L_0}{2}$ , по известной аналогии Рейнольдса

приблизительно равен вертикальному коэффициенту турбулентной вязкости  $K_z$ . Это позволяет непосредственно определить величины  $T_0 = \frac{2K_z}{V_0^2}$ ,  $L_0 = \frac{2K_z}{V_0}$  и связать характеристики движения взвешенных наносов с характеристиками турбулентности. Для частиц наносов с  $w > 0$  вероятности движения вверх и вниз  $\rho_w^\pm = \frac{T_w^\pm}{T_w^+ + T_w^-} = 0,5 \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{w_0}{\sqrt{\pi}} \right) \right]$ , для жидких частиц и частиц – индикаторов в однородном поле турбулентности  $\rho_0^\pm = 0,5$ .

На рис. 1 представлены графики восьми величин  $\frac{V_w^+}{V_0}$ ,  $\frac{T_w^+}{T_0}$ ,  $\frac{L_w^+}{L_0}$ ,  $\frac{V_w^-}{V_0}$ ,  $\frac{T_w^-}{T_0}$ ,  $\frac{L_w^-}{L_0}$ ,  $\rho_w^+$ ,  $\rho_w^-$ , а также две асимптотические прямые линии, «единичная» горизонтальная и величины  $\frac{w}{V_0}$ .

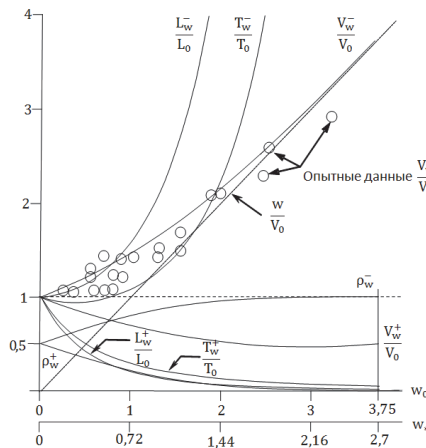


Рис. 1. Средние скорости, времена, длины и вероятности движения вверх-вниз взвешенных наносов и их гидравлическая крупность

С ростом аргумента  $w_0$  величины  $V_w^+$ ,  $T_w^+$ ,  $L_w^+$ ,  $\rho_w^+$  убывают, стремясь к нулю, а величины  $V_w^-$ ,  $T_w^-$ ,  $L_w^-$ ,  $\rho_w^-$  наоборот, возрастают, причем  $V_w^- \rightarrow w$ ,  $\rho_w^- \rightarrow 1$ . Для жидких частиц и частиц-индикаторов с  $w = 0$  характеристики движения вверх и вниз одинаковы, т.е. эти направления равноправны. С ростом величины  $w_0$  характеристики движения вниз весовых частиц с  $w > 0$  все больше

превышают соответствующие характеристики движения вверх, т.е. эти направления движения становятся существенно неравноправными.

При выводе формул для различных вышеуказанных величин использовался нормальный закон распределения величин  $u_z$ . Следовательно, для всех этих величин должно выполняться правило трех сигм,  $3\sigma_u = \frac{3\sqrt{2\pi}}{2} V_0 = 3,75V_0$ . На основе этого правила статистическое значение предельной гидравлической крупности взвешенных наносов  $w_{пр} = 3,75 V_0 = 2,7 u_*$ , чему отвечает предельная кинематическая крупность  $w_0^{пр} = \frac{w_{пр}}{V_0} = 3,75$ . Такое определение величины  $w_{пр}$  согласуется с вышеуказанными представлениями А.В.Караушева и несколько детализирует их для различных величин, фигурирующих в обобщенной теории турбулентной диффузии.

$$\text{При } w_0 = 3,75, \quad p_w^+ = 1,39 \cdot 10^{-3}, \quad \frac{V_w^+}{V_0} = 0,356, \quad \frac{T_w^+}{T_0} = 0,051, \quad \frac{L_w^+}{L_0} = 0,018,$$

$$p_w^- = 0,999, \quad \frac{V_w^-}{V_0} = 3,756, \quad \frac{V_w^-}{w} = 1,002, \quad \frac{T_w^-}{T_0} = 36,954, \quad \frac{L_w^-}{L_0} = 138,8, \quad \frac{K_w}{K_0} = 0,139.$$

При  $w_0 > 3,75$  асимптотические значения  $p_w^+ = V_w^+ = T_w^+ = L_w^+ = K_w = 0$ ,  $p_w^- = 1$ ,  $V_w^- = w$ . Формально, при  $w_0 = 3,75$ , с небольшими, но заметными разрывами, происходит «обнуление» величин  $V_w^+$ ,  $T_w^+$ ,  $L_w^+$ ,  $p_w^+$ , что также показано на рис.1. Эти разрывы показывают степень приближенности правила трех сигм для различных величин. Для частиц с большой кинематической крупностью  $w_0 \geq 3,75$  действие силы тяжести существенно превосходит действие турбулентности, движение частиц перестает быть случайным и становится практически детерминированным. При «выпуске» таких частиц с любого уровня  $z > 0$  в открытом турбулентном потоке они движутся только вниз со скоростью, равной их гидравлической крупности, т.е. как в неподвижной жидкости. При этом  $T_w^-(z) = \frac{z}{w}$ ,  $L_w^-(z) = z$ ,  $L_w^+ = T_w^+ = 0$ . Для весоных частиц с очень малой кинематической крупностью  $w_0 \ll 1$  ситуация обратная. Действие турбулентности на такие частицы существенно



превосходит действие силы тяжести и они движутся максимально случайно, практически как «невесомые» в воде жидкие частицы.

Различие характеристик случайного движения таких весоных частиц от характеристик движения невесоных имеет порядок  $w_0 \ll 1$ , т.е. очень мало. Например,  $\frac{V_w^+}{V_0} = 1 - w_0 \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) = 1 - 0,36 w_0 \approx 1$ ,  $\frac{T_w^+}{T_0} = 1 - w_0 \left(1 + \frac{2}{\pi}\right) = 1 - 1,64 w_0 \approx 1$ . Аналогично  $\frac{L_w^-}{L_0} = \frac{V_w^-}{V_0} = \frac{T_w^-}{T_0} = \frac{L_w^-}{L_0} = \frac{K_w}{K_0} = \frac{P_w^+}{0,5} = \frac{P_w^-}{0,5} = 1$ . Таким образом, в рамках обобщенной теории турбулентной диффузии для частиц с очень малой кинематической (и динамической) крупностью имеет место траекторная форма аналогии Рейнольдса.

Опытные данные по временам прихода частиц на фиксированные горизонты, которые приведены в работе [6], позволяют определить скорость опускания нижнего фронта облаков частиц краски и песка различной крупности в малой вращающейся модели бассейна Шулейкина. В обобщенной теории эта скорость равна  $-V_0$ ,  $-V_w^-$ . Соответствующие опытные значения отношения  $\frac{V_w^-}{V_0} = f\left(\frac{w}{V_0}\right)$  приведены на рис.1. В общем эти значения подтверждают предложенную теоретическую зависимость  $\frac{V_w^-}{V_0}$ . Некоторые отклонения опытных значений от теоретических связаны с влиянием реально неоднородного по вертикали поля турбулентности.

В гидравлической стилизации турбулентности показано, что в открытых потоках с большими числами Рейнольдса  $Re = \frac{UH}{\nu} > 10^4$ ,  $Re_* = \frac{u_* H}{\nu} > 10^3$  для развитой турбулентности среднее по глубине значение  $K_z = \frac{H u_*}{C_U}$ , где  $C_U = \frac{C}{\sqrt{g}}$  - нормированный коэффициент Шези. При стандартном коэффициенте сопротивления  $\lambda_U = C_U^{-2} = \frac{\lambda_R}{2} = \frac{\lambda_D}{8}$ ,  $K_z = \lambda_U UH$ . Старая формула Базена - Буссинеска  $K_z = \frac{H U_*}{15}$  соответствует значению  $C_U = 15$ , логарифмическому профилю средней скорости при значении параметра Кармана  $\alpha = 0,4$  и

показательной эпюре скорости с показателем степени  $m = 1/6$ . В целом все эти величины связаны известным соотношением  $\alpha m C_U = 1$ .

Для принятых опорных значений  $\alpha = 0,4$ ,  $K_0 = \frac{Hu_*}{15}$ ,  $V_0 = 0,72u_*$ ,  $L_0 = \frac{2Hu_*}{15 \cdot 0,72u_*} = 0,19H$ ,  $T_0 = \frac{L_0}{0,72u_*} = 0,26 \frac{H}{u_*}$ . В опытах Б.А.Фидмана [9] в области  $0,14 \leq \eta \leq 1$  равномерного открытого потока, где приближение однородного поля достаточно обосновано, найдена нормированная лагранжева корреляционная функция вертикальной скорости  $R_Z^L\left(\frac{\tau U}{H}\right)$  и среднее абсолютное вертикальное смещение частиц - индикаторов. Первый ноль корреляционной функции отвечает значению  $T_0 = 0,26 \frac{H}{u_*}$ , а величина указанного смещения равна  $0,2H$ . Эти опытные данные подтверждают приведенные теоретические оценки.

В опытах А.Б.Клавена [5] с помощью следящей съемки в подвижной системе координат были обнаружены малые вихри в придонной области со средним размером  $\sim 0,2H$ , которые «катятся» по дну. Положение и размер этих вихрей согласуется с теоретическими оценками траекторий жидких частиц в придонной области.

В совместной работе автора [3] рассмотрена плоская задача распространения в неоднородном поле турбулентности равномерного открытого потока мутности частиц различной крупности, выходящих из точечного источника около свободной поверхности. Эта задача тестировалась по результатам опытов Джобсона и Сэйра [11] для частиц краски и песка с  $0 \leq w_* \leq 1,42$ . Проведенное В.А.Кашиным численное решение этой задачи на базе уравнений обобщенной теории диффузии с найденными величинами  $V_w^\pm(z)$ ,  $T_w^\pm(z)$  при логарифмической средней скорости  $\alpha = 0,39$  и величине  $\sigma_u(z)$  по формуле И.К.Никитина показало, что экспериментальные данные и расчетные результаты хорошо совпадают в толще потока. Это дает системное подтверждение правильности теоретического определения замыканий обобщенной теории, как для жидких частиц и частиц-индикаторов с  $w = 0$ , так для весомых частиц взвешенных наносов с  $w > 0$ .

При значениях  $w_0 = 2,1$ ,  $w_* = 1,51$ , которые почти в два раза меньше статистического значения  $w_{np} = 3,75V_0 = 2,7u_*$ , взвешенные частицы, выходя со свободной поверхности, достигнут дна, ни разу не испытав действия взвешивающих, направленных вверх пульсаций вертикальной скорости жидкости. В физическом плане это объясняется «редкостью» сравнительно больших значений указанных пульсаций, необходимых для взвешивания «достаточно» весомых частиц. Назовем величину  $w_{тр} = 1,51u_*$  траекторной предельной крупностью взвешенных наносов, т.к. частицы с  $w > w_{тр}$  также сразу осаждаются на дно с уровня свободной поверхности. Аналитически величина  $w_{тр}$  находится из условия  $L_w^- = H$  и является корнем уравнения  $f_L^-(w_0) = \frac{H}{L_0} = 5,26$ .

Наблюдения А.Г.Ходзинской [3] за движением различных частиц, в том числе, речных наносов около дна, показали, что частицы с диаметром  $d$  при  $1 < w_* < 6,25$  сальтируют, максимальная высота скачков  $\frac{h_w}{d} = \frac{13,2}{w_*}$ . На основании опытных данных Кнороза - Шильдса принято, что при  $w_* \geq 6,25$  частицы неподвижны,  $h_w = 0$ . При  $w_* > 1$  траектории скачков правильные, гладкие, параболические, без существенных изгибов. При  $w_* \approx 1$  высота скачков резко возрастает, форма скачков становится сильно искаженной колебаниями, особенно в верхней части, т.е. начинает работать механизм взвешивания. Частицы с  $w_* \geq 1,51$ , которые сразу выпадают со свободной поверхности на дно, после падения сальтируют с максимальной высотой скачков  $\frac{h_w}{d} \sim 10$ . При обычных соотношениях  $\frac{H}{d} \sim 10^2 \div 10^3$  и более,  $\frac{h_w}{H} \sim 10^{-2} \div 10^{-3}$  и менее. Следовательно, указанные частицы после попадания на дно обратно в толщу потока не возвращаются.

«Суммируя» оценки траекторий взвешенных и сальтирующих частиц можно считать, что при  $H/d \geq 100$ , практическая величина предельной гидравлической крупности взвешенных наносов  $w_{np} = u_* = \frac{U}{C_U}$ . Полученная практическая оценка согласуется также и с теоретической оценкой

А.С.Образовского, в методике которого  $V_w^\pm = u_* \mp w$ . По Х.Ш.Шапиро, для взвешенных наносов при  $V_w^+ = 0,3u_*$  -  $w$ , предельная крупность  $w_{пр} = 0,3u_*$ , а для донных наносов  $w_{пр} = 1,1u_*$ . Эти результаты объясняются тем, что пробы взвешенных частиц отбирались в толще потока, а пробы донных наносов около дна, т.е. в тех областях потока, в которых находятся соответствующие потолки взвешивания.

По порядку величины типичные характеристики гидротехнических отстойников  $H \sim 1\text{м}$ ,  $U \sim 10\text{ см/с}$ ,  $u_* \sim 1\text{ см/с}$ ,  $C_U \sim 10$ ,  $\lambda_U \sim 10^{-2}$ ,  $w_{пр} \sim u_* \sim 0,1U \sim 1\text{ см/с}$ ,  $Re = \frac{UH}{\nu} \sim 10^5$ . Следовательно, в отстойниках имеет место развитая турбулентность, для которой справедливы все найденные замыкания обобщенной теории диффузии для жидких частиц и взвешенных наносов. Траекторное рассмотрение показывает, что в таких отстойниках выпадают все взвешенные наносы с  $w \geq 1\text{ см/с}$ ,  $d \geq 0,1\text{ мм}$ . Это рассмотрение согласуется с существующими нормами расчета отстойников, в которых  $w_{пр} \cong 0,1U$ .

### Заключение

Найденные аналитические замыкания обобщенной теории турбулентной диффузии для жидких частиц и взвешенных наносов подтверждены рядом опытных данных разных авторов. Эти замыкания устанавливают связь между лагранжевыми характеристиками турбулентности и траекторными характеристиками взвешенных наносов. Эта связь дает достаточно надежное физическое обоснование существующим и будущим нормам расчета гидротехнических отстойников в отношении предельной гидравлической крупности взвешенных наносов.

**ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И МЕРЫ  
ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

*С.С. Соловьёв, к.п.н., профессор*

*РГАУ – МСХА им. К.А.Тимирязева Российская Федерация, гор. Москва*

**Аннотация:** в статье нашли отражение современные проблемы безопасности персонала гидротехнических сооружений и меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций. Описана техногенная авария, произошедшая в 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС. Приведены основные направления и меры по безопасной работе персонала на гидротехнических сооружениях в соответствии с принятыми стандартами (ГОСТами, СНиП, СН, СанПиНами и т.п.).

**Ключевые слова:** проблемы безопасности персонала на гидротехнических сооружениях; техногенная авария; основные направления и меры по безопасной работе персонала ГЭС; основные документы в области проектирования, строительство и эксплуатации гидротехнических сооружений (ГОСТ, СанПИН, охрана труда и т.п.).

**PROBLEMS OF SAFETY OF THE PERSONNEL  
OF HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTIONS AND  
THE MEASURE UNDER THE PREVENTION  
OF EXTREME SITUATIONS**

**S.S. SOLOVIEV, the candidate of pedagogical sciences, the professor  
RGAU - MSHA of K.A.Timirjazeva  
The Russian Federation, mountains. Moscow**

**The summary:** in article have found reflexion modern problems of safety of the personnel of hydraulic engineering constructions and a measure under the prevention of extreme situations. The technogenic failure which has occurred in 2009 on Sajano-Shushenskoj HYDROELECTRIC POWER STATION is described. The basic directions and measures on safe work of the personnel on hydraulic engineering constructions according to the accepted standards (ГОСТами, СанПиНами, etc.) are resulted.

**Keywords:** problems of safety of the personnel on hydraulic engineering constructions; technogenic failure; the basic directions and measures on safe work of the personnel of HYDROELECTRIC POWER STATION; the basic documents in

the field of designing, building and operation of hydraulic engineering constructions (GOST, CN, a labour safety, etc.).

В мировом сообществе и, в частности, в нашей стране всё больше внимание уделяется вопросам безопасности персонала, работающего на гидротехнических сооружениях [4]. Это связано, прежде всего, с повышенной опасностью объектов данной отрасли для жизни и здоровья работников ГЭС, а также состоянием окружающей природной среды. Несмотря на принимаемые меры по безопасности персонала ГЭС в нашей стране и за рубежом бывают сбои в работе техники, агрегатов, технологический линий и т.п., (техногенные аварии), или виновником трагедии, - становится, так называемый - «человеческий фактор».

Так, в результате аварии на Саяно-Шушенской ГЭС в августе 2009 года детали одной из турбин не выдержали вибрации. В результате мощного гидроудара конструкцию весом в полторы тысячи тонн буквально выбросило из гнезда. Тяжелые металлические конструкции поток воды мял, словно бумагу. Крупнейшая в истории отечественной гидроэнергетики техногенная катастрофа унесла жизни семидесяти пяти человек... [5].

Спустя пять лет после аварии крупнейшая в нашей стране Саяно-Шушенская ГЭС снова запущена на полную мощность. Станцию не просто восстановили, а серьёзно модернизировали. И вот сложнейшая работа завершена.

Все это время Президент Российской Федерации, - В.В.Путин, - лично контролировал ход восстановительных работ, неоднократно посещал станцию, и, по окончании восстановительных работ, поздравил энергетиков и строителей с завершением комплексной реконструкции Саяно-Шушенской ГЭС. "Этот блок (десятый гидроагрегат, - СС) пострадал во время аварии больше всех, и символично, что именно им заканчивается полное восстановление станции, которая снова приобретает статус флагмана отечественной гидроэнергетики. Это действительно большая, масштабная, серьезная работа, которая вывела станцию на совершенно новый качественный уровень, просто невероятное КПД - 96,6%, 40 лет блоки должны работать, увеличен значительно срок их эксплуатации. Это все очень хорошие показатели

работы всех специалистов и специалистов электроэнергетики, которые работают на станции, и наших энергомашиностроителей. Очень хорошо. Поздравляю вас и желаю вам успехов", - сказал Владимир Путин [5].

По мнению отечественных и зарубежных экспертов - Российская энергетика получила новую современную, безопасную и, на самом деле, лучшую в мире станцию. Работы по ликвидации аварии и восстановлению, модернизации Саяно-Шушенской ГЭС полностью завершены.

А, вот, мнение очевидца аварии: "Сам не верил, когда на руины эти смотрел, что это можно за пять лет все убрать и восстановить", - свидетельствует Александр Чесноков, машинист грузоподъемных механизмов Саяно-Шушенской ГЭС» [5].

В момент аварии Александр находился в том самом машинном зале, но чудом оказался в числе немногих, кому удалось спастись. Вместе с коллегами ему пришлось подниматься на гребень плотины, чтобы вручную опустить аварийные затворы. Сейчас это можно сделать прямо на центральном пункте управления.

На центральном пульте управления теперь можно наблюдать - мощность, уровень вибрации, выработку электроэнергии и даже ее дальнейший путь. Данные поступают с более чем пяти тысяч измерительных приборов. Все устроено так, что управлять станцией можно даже при отключении основной системы электропитания. ГЭС восстанавливали с учетом прежних ошибок и возможных угроз чрезвычайных ситуаций.

"Пересмотрены были по результатам аварии требования к контролю состояния, технологическим защитам, обеспечению готовности к ликвидации аварийной ситуации. Обеспечены дополнительные системы резервирования по энергопитанию, и теперь станция наша, можно сказать, наиболее безопасная", - поясняет Тимур Юсупов, главный инженер Саяно-Шушенской ГЭС [5].

Новые гидроагрегаты также проектировались с учетом повышенных требований к их надёжности и безопасности работы персонала гидроэлектростанции. С вводом в эксплуатацию последнего гидроагрегата Саяно-Шушенская ГЭС вновь стала крупнейшая в России. Ее проектная

мощность - 6400 мегаватт. Если говорить проще, этого хватит, чтобы зажечь сразу 64 миллиона лампочек [5].

В соответствии с нормативными документами при проектировании гидроэлектростанций и отдельных их объектов специалисты рекомендуют обязательно предусматривать проведение мероприятий, предотвращающих вредное воздействие на работающих шума, вибрации, ультразвука, ионизирующих излучений, электрических полей высокого напряжения, вредных химических веществ, неблагоприятного микроклимата, электромагнитных волн радиочастот и возникновения чрезвычайных ситуаций.

В период выполнения строительно - монтажных работ одновременно с эксплуатацией введенного оборудования все работы, связанные с их окончанием в зоне действующего оборудования, проводятся по нарядам - допускам дирекции строящегося предприятия [1].

#### МЕРЫ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ГЭС

При проектировании гидроэлектростанций необходимо руководствоваться современными, комплексными системами безопасности работы персонала, [стандартами системы безопасности труда](#), соблюдать нормы и правила охраны труда и «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий» СН-245-71 (кроме пп . 13.1 - 13.10, утративших силу). Допустимые значения физических и химических параметров следует принимать в соответствии с:

- ГОСТ 12.1.005 -76 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно - гигиенические требования»;

- ГОСТ 12.1.012 -78 «ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности»;

- ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»;

- ГОСТ 12.1.001 -83 «ССБТ. Ультразвук. Общие требования безопасности»;

- ГОСТ 12.1.002-84 «ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах»;



- ГОСТ 12.1.006-84 «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;

- ГОСТ 12.1.045-84 « ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» и другими [стандартами системы безопасности труда](#), устанавливающими допустимые нормы, соблюдение которых обеспечивает нормальные условия труда.

При организации эксплуатации ГЭС по вопросам [охраны труда](#) специалисты рекомендуют использовать «Перечень основных действующих нормативных документов по охране труда, обязательных для применения на предприятиях и в организациях Минэнерго СССР» [2]:

- при проектировании необходимо предусматривать средства коллективной защиты (классификация по ГОСТ 12.4.011 -75), обеспечивающие безопасность труда при эксплуатации оборудования, а также при его транспортировке, монтаже (демонтаже) и ремонте. При этом следует руководствоваться требованиями ГОСТ 12.2.003 -74;

- при проектировании средств коллективной защиты в электроустановках следует руководствоваться требованиями ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» от ионизирующих излучений - ГОСТ 12.4.120-83 «ССБТ. Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие [технические требования](#)», а также нижеприведенными положениями.

Основными источниками повышенного уровня шума (выше 85 дБА ) на гидроэлектростанциях являются: генераторы, электродвигатели и другие электрические машины с вращающимися частями; [силовые трансформаторы](#) мощностью 100 МВ·А и выше; [насосы](#) различного назначения; центробежные вентиляторы; компрессоры; турбины; проточные части сооружений (водосбросы, трубопроводы); металлорежущие станки при обработке прочной стали, наждачные станки; воздушные выключатели.

Источником шума также является механизированный инструмент (пневмоинструмент, электрические дрели, сварочные агрегаты, шлифовальный

инструмент и т. д.). При проектировании новых и реконструкции действующих гидроэлектростанций должны разрабатываться мероприятия по обеспечению допустимых уровней звукового давления и уровней звука на рабочих местах производственных помещений. Так, например:

- объекты с допустимыми уровнями шума 65 дБА и ниже (пульта управления, лаборатории без собственных источников шума, административно - служебные помещения и др.) не следует размещать в непосредственной близости к помещениям и установкам с повышенным уровнем шума;

- оборудование с повышенным уровнем шума целесообразно устанавливать в отдельных звукоизолирующих помещениях или звукоизолирующих боксах.

Для снижения уровня шума оборудования необходимо использовать следующие средства:

- звукопоглощающую облицовку или штучные поглотители;
- виброизоляцию агрегатов от [перекрытий](#);
- звукоизолирующие и вибродемпфирующие покрытия на поверхности [трубопроводов](#), излучающих шум, звукоизоляцию мест прокладки технологических коммуникаций, связывающих помещение с повышенным уровнем шума с другими помещениями;
- звукоизолирующие кожухи, акустические экраны и выгородки.

Для предотвращения проникновения шума, уровень которого превышает нормы, на территорию ГЭС и прилегающую к ней территорию необходимо применять материалы и конструкции при проектировании кровли, наружных стен, остеклений, ворот и дверей, обеспечивающие снижение уровня шума, глушители шума в трактах газодинамических установок, излучающих шум в атмосферу (компрессоров, вентиляторов), звукоизолирующие облицовки каналов, излучающих шум в атмосферу, звукоизолирующие кожухи и экраны при открытом размещении оборудования с повышенным уровнем шума на территории ГЭС.

Для исключения вредного воздействия повышенного уровня шума на обслуживающий персонал следует использовать: звукоизолирующие кабины

для дежурного персонала, мастеров по ремонту; комнаты отдыха; индивидуальные средства защиты органов слуха.

Кроме того, следует ограничивать пребывание персонала в зонах с повышенным уровнем шума и определять в них в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 (приложение 1 к ГОСТ) относительную дозу шума с тем, чтобы суммарная доза шума в течение рабочего дня (рабочей смены) не превышала допустимого уровня. Допустимые уровни шума на рабочих местах приведены в Таблице № 1.

**Таблица 1**

**Допустимые уровни шума на рабочих местах**

<b>Рабочие места</b>	<b>Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБА</b>
Центральный пульт управления, помещения для инженерно - технического персонала цехов и служб	60
Щиты управления, кабины для наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону	65
Помещения лабораторий без собственных источников шума, комнаты мастеров, машинописные бюро	65
Помещения конструкторских бюро, для расчетчиков, программистов вычислительных машин, приема больных в здравпунктах, административно - управленческого персонала	50
Помещения лаборатории с собственными источниками шума для размещения агрегатов вычислительных машин с повышенным уровнем шума	80
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	85
<b>Примечание:</b> Звуковые давления в дБ, соответствующие данным уровня звука в дБА, указаны в ГОСТ 12.1.003.83.	

Предельно допустимые концентрации (ПД К) вредных веществ в воздухе рабочей зоны применительно к помещениям гидроэлектростанций согласно ГОСТ 12.1.005 -76 приведены в Таблице № 2 .

Таблица 2

## Предельно допустимые концентрации вредных веществ в рабочей зоне

Вещество	Значение ПДК, мг / м <sup>3</sup>	Класс опасности	Агрегатное состояние
Окислы азота (в пересчете на O <sub>2</sub> )	2	2	П
Аммиак	20	4	П
<u>Ацетон</u>	200	4	П
Бензин - растворитель (в пересчете на С) и другие углеводороды алевтические предельные C <sub>1</sub> - C <sub>10</sub> (в пересчете на С)	300	4	П
Ксилол	50	3	П
Марганец (в пересчете на MnO <sub>2</sub> )	0,3	2	А
Никель и его окись, закись, сульфид (в пересчете на Ni)	0,5	2	А
Медь	1	2	А
Свинец и его неорганические соединения	0,01	1	А
Ртуть металлическая	0,01	1	П
Спирт этиловый	1000	4	П
Спирт метиловый ( <u>метанол</u> )	5 <sup>+</sup>	3	П
Спирт пропиловый, амиловый, бутиловый, ацетопропиловый	10	3	П
<u>Серная кислота</u> , серный ангидрид	1	2	А
Сернистый ангидрид	10	3	П
Соляная кислота	5	2	П
Окись углерода	20	4	П
Окись железа с примесью окислов марганца до 30 %	6	4	А
Масляный ангидрид	1	2	П
<b>Примечание:</b> П – пары и (или) газы; а - аэрозоли; «+» - опасны при поступлении через кожу.			

На гидроэлектростанциях образование опасных концентраций вредных веществ и аэрозолей возможно, как правило, при выполнении в помещениях различных ремонтных и эксплуатационных работ (пайки, сварки, малярных,

пескоструйных, шлифовальных и т. д.), а также в помещениях аккумуляторных батарей, в помещениях с аппаратурой, содержащих ртуть, на складах горючесмазочных и лакокрасочных материалов, в химической лаборатории, помещениях масляного хозяйства.

Для снижения концентрации вредных веществ должна проектироваться проточно - вытяжная или местная вытяжная вентиляция в соответствии с требованиями СН 245-71 .

При проектировании системы освещения вновь строящихся и реконструируемых зданий и сооружений, мест производства работ вне зданий и наружного освещения гидростанций следует руководствоваться СНиП II -4-79 «Строительные нормы и правила. Нормы проектирования . Естественное и искусственное освещение».

Для совершенствования деятельности персонала, руководства ГЭС и населения при возможной аварийной ситуации на гидротехнических сооружениях проводятся учения. Например, на Рыбинской ГЭС прошли учения по защите персонала и населения при аварии на гидроэлектростанции [3].

На учениях была смоделирована ситуация: во время паводка на Рыбинском водохранилище поднялся уровень воды выше предельно допустимой отметки — 102,5 метра. Возникла угроза прорыва земляной плотины и катастрофического затопления, несмотря на экстренный сброс воды Рыбинской ГЭС в реку Волгу. При обходе гидротехнических сооружений специалисты обнаружили в одной из дамб прорыв воды через отверстие диаметром 3 метра и глубиной в 2,5 метра. Вдобавок к этому, на ГЭС в кабельной шахте гидрогенератора № 1 из-за короткого замыкания возник пожар. Руководитель штабной тренировки — заместитель генерального директора по ГЭС Валерий Вендиктов на протяжении учений контролировал действия руководящего состава комиссии по чрезвычайным ситуациям, штаба ГО ЧС, председателя эвакуационной комиссии, начальника приемного эвакуационного пункта, ведущих специалистов. По окончании учений действиям участников была дана удовлетворительная оценка. Были высказаны

предложения по дальнейшему повышению уровня безопасности и готовности к действиям в чрезвычайных ситуациях [3].

Таким образом, использование нормативной документации, внедрение систем комплексной безопасности, обучение и защита персонала, работающего на гидротехнических сооружениях – являются важнейшими составляющими по предупреждению ЧС.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева В  
ПРЕДСТАВЛЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ СТУДЕНТОВ  
(К 150-ЛЕТИЮ ТСХА)**

**С.С.Соловьёв, к.п.н., профессор**  
РГАУ – МСХА им. К.А.Тимирязева  
Россия, город Москва

**Аннотация:** в статье отражены основные направления и перспективы развития РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева в представлении современных студентов.

**Ключевые слова:** перспективы развития РГАУ – МСХА им. Тимирязева; использовались методы проведения социологического исследования (анкетирование, интервьюирование, работа с документами), модельные представления, экстраполяция выявленных тенденций и т.п.

**PROSPECTS of DEVELOPMENT RGAU - MSHA of K.A.Timirjazeva  
In REPRESENTATION of MODERN STUDENTS  
(TO 150 ANNIVERSARY TSHA)**

**S.S.Solovyov, kanlilatpedagogicheskikh nauk, the professor**  
RGAU - MSHA of K.A.Timirjazeva  
Russia, the city of Moscow

**The summary:** in article the basic directions and prospects of development of RGAU - MSHA K.A.Timirjazeva in representation of modern students are reflected.

**Keywords:** prospects of development it. RGAU - MSHA Timirjzeva; methods of carrying out of sociological research (questioning, interviewing, work with documents), modelling representations, etc. were used

3 декабря 2015 года ТСХА (Российскому государственному аграрному университету – МСХА им. К.А.Тимирязева) исполняется – 150 лет. Аграрный университет является поистине национальной гордостью и кузницей кадров для нашей страны. Мировую известность и славу составляют отечественные учёные, которые внесли существенный вклад в развитие мировой науки: К.А. Тимирязев, Н.И. Вавилов, В.Р. Вильямс, Д.Н. Прянишников, А.В. Чайнов, В.П. Горячкин, А.Н. Костяков и многие другие. По мере формирования научных

направлений и школ на базе структурных подразделений Тимирязевки была создана целая сеть аграрных учебных и научно-исследовательских организаций в стране, в том числе и ВАСХНИЛ.

Университет с честью продолжает выполнять свою историческую миссию и сегодня остается лидером российского аграрного образования.

Накануне юбилея произошло историческое событие – в апреле 2014 года к РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева присоединены Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина и Московский государственный университет природообустройства имени А.Н.Костякова. Теперь это единый университет, как и 84 года назад, включающий в себя практически все направления подготовки кадров для агропромышленного комплекса.

Высокий авторитет университета поддерживается учеными нынешнего поколения, среди которых работают более 300 профессоров и докторов наук, более 700 доцентов, старших преподавателей и ассистентов, имеющих ученую степень кандидата наук. Среди профессорско-преподавательского состава более 30 академиков и членов-корреспондентов РАН, лауреатов различных государственных премий, заслуженных деятелей науки и образования Российской Федерации.

Вуз гордится своими выпускниками. За свою почти полуторавековую историю существования в стенах Тимирязевки подготовлено свыше двухсот тысяч высококвалифицированных специалистов для агропромышленного комплекса России и стран ближнего и дальнего зарубежья. Это известные ученые, политические деятели, руководители агробизнеса, организаторы сельскохозяйственного производства, фермеры.

Уверен (ректор РГАУ – СС), что и в дальнейшем университет сохранит свой авторитет в области подготовки высококвалифицированных кадров для сельского хозяйства и будет вносить достойный вклад в развитие российской аграрной науки.



Празднование 150-летия университета будет осуществляться в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2013 г. № 2531-р и распоряжением Министерства сельского хозяйства России от 15 апреля 2014 г. № 180-р. В план проведения наиболее значимых юбилейных мероприятий включены международные научные конференции, симпозиумы, конгрессы и форумы, различные выставки, Универсиада студентов, фестиваль студенческого творчества аграрных вузов России и ряд других мероприятий. Определён состав Оргкомитета проведения юбилея, куда вошли руководители Минсельхоза России и наиболее уважаемые представители российского АПК.

Мы делаем все возможное для того, чтобы этот юбилей стал праздником для каждого работника аграрной образовательной сферы и каждого Тимирязевца, где бы он не находился сегодня [1].

В преддверии юбилея было проведено исследование о перспективах развития университета в представлении современных студентов. Были использованы следующие методы при работе со студентами РГАУ – МСХА им. К.А.Тимирязева: анкетирование, интервьюирование, написание студентами творческих работ по заданной тематике, эссе и т.п. Кроме того, было проведено комплексное исследование, направленное на изучение истории, современной деятельности учебного заведения и экстраполяции в будущее, выявленных тенденций...

Студентам был задан вопрос: «Каким представляется будущее РГАУ – МСХА им. Тимирязева во всех её проявлениях?»

Большинство студентов написали, что у старейшего учебного заведения страны отличные перспективы в будущем:

- создана и успешно функционирует научная школа по подготовки студентов и переподготовки научных кадров;
- увеличится количество студентов, поступающих в РГАУ на различные факультеты, причём появятся и новые факультеты, наиболее отвечающие социальному заказу современного общества;

- изменится облик самой академии, так наряду с памятниками культуры и архитектуры (имеются в виду старинные здания), появятся новые корпуса (причём, на них будут расти различные деревья и кустарники) и учебные лаборатории, оснащённые по последнему слову науки и технике, где действительно будут проводиться лабораторные и практические занятия со студентами; появятся новые специальности и профили обучения; появится свой ботанический сад для проведения учебных экскурсий и научно-исследовательской работы студентов, как в МГУ им. М.В.Ломоносова;

- профессорско-преподавательский состав будет обновлённым и представительным, обладающим не только профессионализмом, но и высокими нравственными, психолого-педагогическими и гуманистическими характеристиками;

- территория ТСХА будет еще более приближена к спортивно-оздоровительной деятельности студентов и преподавателей в рамках реализации программ: «Здоровый образ жизни», «Здоровье москвича» и т.п.;

- оцениваться знания студентов будут не по традиционной «пяти-бальной» системе, а по международному стандарту, как это уже принято в лучших университетах страны, например в Академии Международном Независимом Эколого-Политологическом Университете (МНЭПУ);

- сократится документооборот: «студент – деканат», «преподаватель – кафедра – учебная часть – деканат»;

- изменятся взаимоотношения между младшими (студентами) и старшими (преподавателями) в лучшую сторону, где будут развиваться идеи партнерства, сотрудничества, взаимопомощи и наставничества;

- более развитыми, содержательными и многосторонними будут партнерские и социальные связи между студентами и профильными учреждениями, где будет проходить любая учебная практика...;

- расширится волонтерское движение студентов и преподавателей;

- появится много новых, интересных, содержательных конкурсов по выбранному профилю обучения (будущей профессии), где студентам будет предоставлена возможность проявлять творческую инициативу;

- в полной мере будет реализовываться деятельность студентов в хозрасчётных, договорных работах и участия в грантах для своего учебного заведения, округа, города, страны;

- будут расширены международные связи между РГАУ - МСХА им. Тимирязева с другими профильными и непрофильными учебными и научно-исследовательскими учреждениями (организациями) на уровне студентов, бакалавров, магистров и преподавателей;

- будут более востребованы музейные экспонаты для проведения учебных экскурсий со студентами, которые необходимо использовать наряду с современными техническими (в том числе мультимедийными) средствами обучения;

- будет всемерно развиваться и поощряться инновационная деятельность.

Представления студентов, основываются на личном опыте, участии в учебно-воспитательном процессе в ВУЗе, а также поиске информации (материалов) в средствах массовой информации и использовании ресурсов Интернет.

Таким образом, представляется современным студентам будущее (перспективы развития) РГАУ - МСХА им. К.А.Тимирязева.

**ВЫПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСИ ПОТОКА  
СТЕСНЕННОГО КОМБИНИРОВАННОГО ДАМБАМИ**

*Бакиев М.Р. - д.т.н., проф.*

*Шукурова С.Э. - старший научный сотрудник-исследователь*

*ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ И МЕЛИОРАЦИИ*

*г. Ташкент, Узбекистан*

**Аннотация**

на статью Бакиева М.Р., Шукуровой С.Э.

«Отклонение динамической оси потока несимметрично стесненного комбинированными дамбами со сквозной частью ступенчатой застройкой»

В статье с использованием основных уравнений теоретической механики и гидротехники, получены зависимости для установления отклонения динамической оси потока, удельных расходов в нестесненной части потока, а также оценки пропускной способности сквозных частей комбинированных дамб ступенчатой застройки, несимметрично стесняющих поток.

**Abstract**

article Bakiyev M.R., Shukurova S.E.

"Deviation dynamic flow axis asymmetrically constrained dams combined with continuous part of stepped buildings"

In this paper, using the basic equations of theoretical mechanics and hydraulic engineering, obtained according to establish bias dynamic flow axis, unit costs in the unrestricted portion of the stream, as well as assessing the capacity of the combined cross-step construction of dams, the flow is asymmetric tightening.

Берегозащитные и руслорегулировочные работы ведутся на реках Амударья и Сырдарья и на их притоках. Для выполнения их ежегодно выделяется более 10 млрд. сум. значительные средства выделяются для ликвидации аварийных и чрезвычайных ситуаций из-за прорыва существующих дамб.

Основными причинами аварийных ситуаций и разрушения защитно-регуляционных сооружений является, как несовершенство их конструкций, так и методов расчета и проектирования, связанных с неточным прогнозом русловых переформирований после устройства их в русле реки или на пойме.

При этом наиболее капитальными сооружениями являются комбинированные дамбы, которые обеспечивают эффективную защиту берега из-за наличия глухой части, расходуется меньше средств для крепления оголовка из-за небольших глубин размыва у оголовка.

Исследования работы комбинированных дамб со сквозной частью с постоянной застройкой рассматривались в работах [1, 2, 3].

Несимметричное стеснение потока комбинированными дамбами со сквозной частью ступенчатой застройкой рассматривается впервые.

Характерная схема потока стесненного комбинированной дамбой со сквозной частью ступенчатой застройки показана на рис-1.

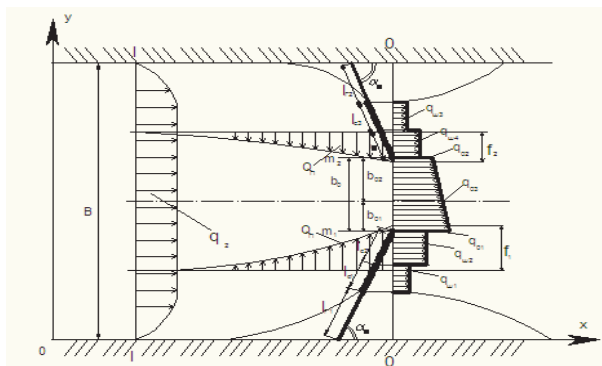


Рис-1. Схема несимметричного стеснения потока комбинированными дамбами ступенчатой застройки

Коэффициенты застройки отдельных ступеней определяется

$$P_i = \frac{d}{d+S_i} \quad (1)$$

где:  $d$  – диаметр элементов;  $S_i$  – расстояние между элементами.

Коэффициенты застройки ступеней уменьшаются к оголовку дамбы. Часть расхода отклоняется в сторону нестесненной части потока, а часть проходит через тело дамбы.

Под действием комбинированных дамб происходит перераспределение удельных расходов, равномерная эпюра удельных расходов в створе I-I и в створе 0-0 принимают вид как показано на рисунке.

Проектирование трассы регулирования, в том числе для создания искусственных подводящих русел при водозаборе необходимо решить следующие задачи:

- установление отклонения динамической оси потока;
- определение относительных удельных расходов в створе стеснения;
- определение пропускной способности сквозных частей.

Настоящая статья посвящается решению именно этих задач.

Для определения отклонения динамической оси потока в правых и левых частях потока [4] воспользуемся теоремой Вариньона записанного для створов I-I и 0-0:

- для правой части

$$\begin{aligned} 0,5q_2B(0,25B + f_1) = & q_{ш1}l_{c1}\sin\alpha_d(l_{r1}\sin\alpha_d + 0,5l_{c1}\sin\alpha_d) + \\ & + q_{ш2}l_{c2}\sin\alpha_d(l_{r1}\sin\alpha_d + l_{c1}\sin\alpha_d + 0,5l_{c2}\sin\alpha_d) + \\ & + 0,5(q_{03} + q_{01})b_{01} \left[ l_{д1}\sin\alpha_d + \frac{2q_{03}+q_{01}}{3(q_{03}+q_{01})} (0,5B - l_{д1}\sin\alpha_d) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

- для левой части русла (относительно точки на левом берегу действие сил направлены по часовой стрелке)

$$\begin{aligned} 0,5q_2B(0,25B + f_2) = & q_{ш3}l_{c3}\sin\alpha_d(l_{r2}\sin\alpha_d + 0,5l_{c3}\sin\alpha_d) + \\ & + q_{ш4}l_{c4}\sin\alpha_d(l_{r2}\sin\alpha_d + l_{c3}\sin\alpha_d + 0,5l_{c4}\sin\alpha_d) + \\ & + 0,5(q_{03} + q_{02})b_{02} \left[ l_{д2}\sin\alpha_d + \frac{2q_{02}+q_{03}}{3(q_{02}+q_{03})} (0,5B - l_{д2}\sin\alpha_d) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Из первого уравнения

$$\begin{aligned}
 f_1 = & 2 \frac{q_{ш1} l_{c1} \sin \alpha_{д}}{q_2 B} (l_{r1} \sin \alpha_{д} + 0,5 l_{c1} \sin \alpha_{д}) + \\
 & + 2 \frac{q_{ш2} l_{c2} \sin \alpha_{д}}{q_2 B} (l_{r1} \sin \alpha_{д} + l_{c1} \sin \alpha_{д} + 0,5 l_{c2} \sin \alpha_{д}) + \\
 & + \frac{(q_{03} + q_{01}) b_{01}}{q_2 B} \left[ l_{д1} \sin \alpha_{д} + \frac{2q_{03} + q_{01}}{3(q_{01} + q_{03})} (0,5B - l_{д1} \sin \alpha_{д}) \right] - 0,25B \quad (4)
 \end{aligned}$$

Из второго уравнения

$$\begin{aligned}
 f_2 = & 2 \frac{q_{ш2} l_{c3} \sin \alpha_{д}}{q_2 B} (l_{r2} \sin \alpha_{д} + 0,5 l_{c3} \sin \alpha_{д}) + \\
 & + 2 \frac{q_{ш4} l_{c4} \sin \alpha_{д}}{q_2 B} (l_{r2} \sin \alpha_{д} + l_{c3} \sin \alpha_{д} + 0,5 l_{c4} \sin \alpha_{д}) + \\
 & + \frac{(q_{03} + q_{02}) b_{02}}{q_2 B} \left[ l_{д2} \sin \alpha_{д} + \frac{2q_{02} + q_{03}}{3(q_{02} + q_{03})} (0,5B - l_{д2} \sin \alpha_{д}) \right] - 0,25B \quad (5)
 \end{aligned}$$

Разделим, правые и левые части уравнений на  $B$  и после некоторых преобразований окончательно получим относительные отклонения динамических осей для правых и левых частей потока:

$$\begin{aligned}
 \lambda_{f_1} = & 2 \overline{q_{ш1}} n_{c1} (n_{r1} + 0,5 n_{c1}) + 2 \overline{q_{ш2}} n_{c2} (n_{r1} + n_{c1} + 0,5 n_{c2}) + \\
 & + (\overline{q_{03}} + \overline{q_{01}}) (1 - n_1) \left[ n_1 + \frac{2\overline{q_{03}} + \overline{q_{01}}}{3(\overline{q_{01}} + \overline{q_{03}})} (0,5 - n_1) \right] - 0,25 \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_{f_2} = & 2 \overline{q_{ш3}} n_{c3} (n_{r2} + 0,5 n_{c3}) + 2 \overline{q_{ш4}} n_{c4} (n_{r2} + n_{c3} + 0,5 n_{c4}) + \\
 & + (\overline{q_{03}} + \overline{q_{01}}) (1 - n_2) \left[ n_2 + \frac{2\overline{q_{02}} + \overline{q_{03}}}{3(\overline{q_{02}} + \overline{q_{03}})} (0,5 - n_2) \right] - 0,25 \quad (7)
 \end{aligned}$$

В уравнениях приняты следующие обозначения

$\lambda_{f_1} = f_1/B$ ;  $\lambda_{f_2} = f_2/B$  – относительные отклонения динамической оси правой и левой частей потока;

$\overline{q_{ш1}} = q_{ш1}/q_2$  ;  $\overline{q_{ш2}} = q_{ш2}/q_2$ ;  $\overline{q_{ш3}} = q_{ш3}/q_2$ ;  $\overline{q_{ш4}} = q_{ш4}/q_2$  – относительные удельные расхода ступеней в правых и левых частях;

$\overline{q_{01}} = q_{01}/q_2$ ;  $\overline{q_{02}} = q_{02}/q_2$ ;  $\overline{q_{03}} = q_{03}/q_2$  – относительные удельные расходы в свободной части русла;

$n_1 = l_{д1} \sin \alpha_{д}/B$ ;  $n_2 = l_{д2} \sin \alpha_{д}/B$  – степени стеснения потока правой и левой дамбой;

$n_{c1} = l_{c1} \sin \alpha_{д}/B$ ;  $n_{c2} = l_{c2} \sin \alpha_{д}/B$ ;  $n_{c3} = l_{c3} \sin \alpha_{д}/B$ ;  $n_{c4} = l_{c4} \sin \alpha_{д}/B$  – стеснение потока сквозными частями дамб, соответственно правой и левой;

$n_{r1} = l_{r1} \sin \alpha_{д}/B$ ;  $n_{r2} = l_{r2} \sin \alpha_{д}/B$ ;  $n_{r3} = l_{r3} \sin \alpha_{д}/B$ ;  $n_{r4} = l_{r4} \sin \alpha_{д}/B$  – стеснение потока глухими частями дамб, соответственно правой и левой.

Отклонение общей динамической оси потока для рассматриваемой схемы (рис.1) равно:

$$f_0 = f_1 - f_2 \quad (8)$$

Удельные расходы в нестесненной части потока находим из уравнения сохранения расхода записанного для створов I-и 0-0

$$q_2 B = q_{ш1} l_{c1} \sin \alpha_{д} + q_{ш2} l_{c2} \sin \alpha_{д} + \int_{Y_1}^{Y_2} q_x dy + q_{ш4} l_{c4} \sin \alpha_{д} + q_{ш3} l_{c3} \sin \alpha_{д} \quad (9)$$

Относительный дефицит удельных расходов, для данной схемы, примем изменяющимися по линейному закону:

$$\frac{q_x - q_1}{q_2 - q_1} = (1 - \eta) \quad (10)$$

где  $\eta = \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{Y - Y_1}{b_0}$  – относительные ординаты точки, где определяется  $q_x$

Выполняя интегрирование в (9) с учетом (10) и разделив на  $q_2 B$  получим:

$$0,5(\overline{q_{01}} + \overline{q_{02}}) = \overline{q_0} = \frac{1 - \overline{q_{ш1}} n_{c1} - \overline{q_{ш2}} n_{c2} - \overline{q_{ш3}} n_{c3} - \overline{q_{ш4}} n_{c4}}{1 - n_{r1} - n_{c1} - n_{r2} - n_{c2} - n_{c3} - n_{c4}} \quad (11)$$

$\overline{q_0} = q_0/q_2$  – относительный средний удельный расход в нестесненной части русла.

Пропускную способность сквозных частей воспользуемся понятием – коэффициент обтекания, как отношение расхода проходящего через сквозную часть на расход приходящий на длину комбинированной дамбы

$$K_{01} = \frac{Q_{ш1} + Q_{ш2}}{Q_1}; K_{02} = \frac{Q_{ш3} + Q_{ш4}}{Q_2} \quad (12)$$



Расходы через сквозные части определяются из уравнения сохранения расхода записанных для створов I-I, оси дамбы и линий  $m_1, m_2$  проходящих через оголовки дамбы:

- для правой части

$$K_{01} V_6 h_6 l_{д1} \sin \alpha_d = h_{ш} \sin(\alpha_d + \beta_1) (1 - P_1) U_{ш1} l_{c1} + h_{ш} \sin(\alpha_d + \beta_2) (1 - P_2) U_{ш2} l_{c2} \quad (13)$$

- для левой части

$$K_{02} V_6 h_6 l_{д2} \sin \alpha_d = h_{ш} \sin(\alpha_d + \beta_3) (1 - P_3) U_{ш3} l_{c3} + h_{ш} \sin(\alpha_d + \beta_4) (1 - P_4) U_{ш4} l_{c4} \quad (14)$$

Находим  $\overline{q_{ш1}}$

$$K_{01} = \frac{q_{ш1}}{q_2} \overline{l_{c1}} (1 - P_1) a_1 + \frac{q_{ш2}}{q_2} \overline{l_{c2}} (1 - P_2) a_2 \quad (15)$$

$$K_{02} = \frac{q_{ш3}}{q_2} \overline{l_{c1}} (1 - P_3) a_3 + \frac{q_{ш4}}{q_2} \overline{l_{c4}} (1 - P_4) a_4 \quad (16)$$

где  $a_i = \frac{\sin(\alpha_d + \beta_i)}{\sin \alpha_d}$ ;  $\overline{l_{c1}} = l_{c1}/l_{д1}$ ;  $\overline{l_{c2}} = l_{c2}/l_{д1}$ ;  $\overline{l_{c3}} = l_{c3}/l_{д2}$ ;  $\overline{l_{c4}} = l_{c4}/l_{д2}$

Угол растекания  $\beta_0$  и коэффициент сопротивления сквозных частей определяется по рекомендациям [3,5].

### Выводы

1. По рекомендациям [3,5] определяются коэффициенты сопротивлений сквозных частей, а затем и удельные расходы проходящие через отдельные сквозные части  $\overline{q_{ш1}}, \overline{q_{ш2}}, \overline{q_{ш3}}, \overline{q_{ш4}}$ .

2. По (11) вычисляется удельный расход в несесенной части русла.

3. По (15) и (16) оценивается пропускная способность правых и левых сквозных частей комбинированной дамбы.

4. Отклонение динамических осей для правых и левых частей вычисляется по (6) и (7).

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Н.В. Ханов, доктор технических наук, профессор, К.Д. Козлов, аспирант  
ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ - МСХА  
ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА»,  
г. Москва, Россия*

Описана основная цель использования геосинтетических материалов, их группы и область применения. Изложены результаты лабораторных гидравлических исследований покрытия из геокомпозитного материала – геомата марки Энкамат А2. Определены коэффициенты шероховатости в гладком русле и при укладке материала “внахлест”.

*Describes the main purpose of the use of geosynthetic materials, their groups and field of application. Results of laboratory hydraulic researches of a covering from geocomposite material – a brand geomat Enkamat are stated to A2. Roughness coefficients in the smooth course are defined and when laying material "with an overlap".*

Геосинтетические материалы - обобщающее название материалов, состоящих из синтетических или натуральных полимеров, а так же других строительных материалов, используемых в качестве элементов разнообразных сооружений и строительных конструкций [3].

В основном данные материалы используют для решения таких задач, как:

- армирование элементов земляного полотна и дорожной одежды
- предотвращение появления отраженных трещин в верхних слоях покрытия
- устройство разделительных прослоек между конструктивными элементами дорожной конструкции (слоями дорожной одежды)
- устройство дренажей (а так же повышение их надежности и увеличение срока службы)
- устройство гидроизолирующих прослоек
- укрепление склонов, откосов, и других поверхностей от эрозии

Основная цель применения геосинтетических материалов - обеспечение функционирования автомобильной дороги или какого-либо ее элемента при сложных условиях строительства или эксплуатации, а так же при наличии преимуществ относительно использования традиционных решений. Внедрение дополнительных геосинтетических материалов позволяет повысить надежность дорожной конструкции, качество работ, упрощение технологии строительства, сокращение сроков строительства, и уменьшение расходов дорожных материалов. Но главное преимущество это долговечность материала, которая составляет порядка 50-100 лет ( при условии отсутствия повреждений во время строительно-монтажных работ и защиты от прямого солнечного воздействия). В настоящий момент для изготовления геосинтетических материалов применяют такие материалы, как полипропилен - имеет хорошую водостойкость, биостойкость и стабилен к действию кислотных и щелочных сред, но имеет плохую светостойкость и низкую длительную прочность. Полиэфир - обладает хорошей водостойкостью, светостойкостью, биостокость, но при попадании в щелочную среду с  $pH \geq 9$  снижается прочность. Полиамид имеет хорошую биостойкость и механические свойства волокон, при увлажнении снижается прочность на 30% и дополнительно снижается прочность при  $pH$  среды менее 5,5 , так же используются полиэтилен, стекловолокно и др. Для придания специальных свойств в сырье вводят различные добавки (сажу для стабилизации от солнечной радиации, пигменты для изменения цвета материала и т.д.).[2]

Геосинтетические материалы в дорожном строительстве подразделяются на следующие группы:

Геотекстильный материал - поставляемое в рулонах сплошное водопроницаемое тонкое гибкое нетканое, тканое, трикотажное полотно, получаемое путем скрепления волокон или нитей механическим (плетение, иглопробивание), химическим (склеивание), термическим (сплавление) способами или их комбинацией. Тканые материалы имеют повышенную прочность, высокий модуль упругости и имеют регулярную структуру, но не

обладают достаточной водопроницаемостью. Обычно их применяют при армировании и защиты элементов дорожного полотна. Нетканые материалы, отличаются водопроницаемостью в плоскости полотна и их основная функция - дренирование и защита при возникновении больших деформаций (например при укладке в основании тонкой насыпи временной дороги).

Георешетка - плоский рулонный материал с ячейками линейных размеров от 1 см (геосетка), выполняющий преимущественно армирующие функции, или объемный материал с ячейками высотой от 3 см, поставляемый в виде блоков слоев со сложенными ячейками (пространственная георешетка), выполняющий преимущественно защитные функции по отношению к заполнителю ячеек (грунту, крупнопористым минеральным материалам - щебню, гравию, шлаку, материалам, обработанным вяжущим и др.). Плоские георешетки (геосетки) отличаются высокими механическими характеристиками и применяются для создания армирующих прослоек. Пространственные георешетки используют для укрепления откосов, армирование нижних слоев дорожных одежд, а так же насыпей.

Геокомпозит - поставляемый в рулонах или блоках материал из 2-х или более слоев, создаваемый из различных геотекстильных материалов, геотекстильных материалов и геосеток для более эффективного выполнения отдельных функций, например, геосетки, объединенные с полотном из нетканого геотекстильного материала для усиления покрытий (армогеокомпозит) или фильтр из тонкого нетканого геотекстильного материала, объединенный с создающим объем нетканым высокопористым геотекстильным материалом для дренирования дорожных конструкций (геодрена). Геокомпозиты в виде геодрен используют как дренирующий слой при создании плоскостного или перехватывающего дренажа. Геокомпозиты из нетканного геополотна применяются для армирования покрытий, именно их чаще всего используют для предотвращения процесса появления "отраженных" трещин.

Геооболочка - геотекстильный материал или геосетка, образующие объемные оболочки для заполнения их другими строительными материалами,

как правило, на месте производства работ, например, мешки-контейнеры из геотекстильного материала, заполненные песком (геоматы для укрепления откосов), сборные контейнеры из геосеток с заполнением крупнофракционным материалом (габионы).

В 2014 году были проведены лабораторные гидравлические исследования покрытия из геокомпозитного материала – геомата марки Энкамат А2. Испытания проводились в лотке с переменным уклоном длиной 8 м, шириной 0,78м, высотой 0,38м. Максимальный уклон дна лотка, который можно было установить, составлял  $i_{\max}=0.053$ . Этот уклон позволял получить в лабораторных условиях среднюю скорость потока, достигающую  $V_{\max}=2,6$  м/с. [4]

Исследования показали, что для гидравлических расчётов каналов с покрытием из Энкамата А20 можно рекомендовать значение  $n=0.0168$ , полученное при использовании формулы Маннинга впрямь до накопления более обширных экспериментальных и натуральных данных.

Одной из основных практических задач, возникающих при строительстве каналов с подобными покрытиями является вопрос их устойчивости при гидродинамическом воздействии на них потока. Опасность заключается в том, что при проникновении под ковёр скоростного напора потока через стыки возможен отрыв ковра и резкое увеличение лобового сопротивления, под действием которого ковёр будет сворачиваться в рулон и уноситься потоком вниз по течению. При измерении скоростей потока этому вопросу было уделено особое внимание. Можно считать, что донная скорость потока  $V=1$ м/с является критической для свободнолежащего ковра Энкамат 20 [6].

Укладка Энкамата А20 в натуральных условиях выполняется с формированием стыков "внахлёт" по течению потока. Исследования по определению влияния стыка на гидравлические потери по длине канала проводились в прямоугольном лотке со стыком, выполненным "внахлёт" по всему периметру поперечного сечения. По результатам установлено, что для расчёта каналов с рассматриваемым покрытием можно применять значение коэффициента шероховатости  $n=0.0176$ .

Исследования по влиянию стыков на устойчивость покрытия проводились в прямоугольной лотке для различной конструкции стыков. По результатам этой серии экспериментов можно сделать вывод, что даже при свободной укладке материала с соединением внахлест по течению, без точечных креплений, не было зафиксировано никаких нарушений устойчивости при средних скоростях потока вплоть до 2.5 м/с. По технологическим условиям, ковёр Энкомат А20 крепится к грунту стальными скобами, что безусловно предопределяет его устойчивость против его сдвига силами влечения воды [5]

При укреплении водоотводных канав применение прослоек из нетканых геотекстильных материалов позволяет за счет защиты и гидроизоляции грунтовой поверхности под геотекстилем предотвратить ее эрозию в течение длительного промежутка времени с исключением инфильтрации воды в грунт, если геотекстильный материал обработан органическим вяжущим. Этим достигается уменьшение расхода традиционных дорожных материалов, повышение эксплуатационной надежности укрепления, упрощение технологии производства работ при строительстве и ремонте

Геомембрана - сплошное водонепроницаемое рулонное полотно из геотекстильного, обработанного вяжущим, в том числе на месте производства работ, материала или рулонный пленочный материал для создания гидроизолирующих прослоек. В некоторых случаях геомембраны поставляют с наполнителем, например, геоболочка из нетканого геотекстильного материала с наполнителем - порошком из бентонитовой глины. Применяют как для создания гидроизолирующих прослоек, так и для укрепления сооружений поверхностного водоотвода.

Геоплита - сплошной теплоизоляционный материал в виде плиты, например, пенопласт. Обычно используются при строительстве дорожных конструкций с теплоизолирующими слоями, как правило в зоне вечной мерзлоты.

Геоэлемент - отдельные элементы, не образующие сплошного полотна в виде волокон, тросов, узких лент, выполняющие, как правило, функции армирования, в том числе дискретного [1].

## ОБ ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА ЗА ГАСИТЕЛЯМИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

*Мвуэйкуре Жан Клод, аспирант кафедры гидротехнических сооружений  
ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА», г. Москва, Россия*

### **Аннотация**

Рассмотрены результаты оценки точности измерений при изучении кинематической структуры потока за многосекционным гасителем ударного действия при различных гидравлических экспериментальных режимах.

### **Abstract**

*The results of evaluation of the accuracy of measurements in the study of the kinematic structure of the flow of multiple units damper percussion at various hydraulic experimental modes*

Одним из основных критериев, при определении качества модельных исследований, является точность определения гидравлических измерений потока. Для качественной оценки любого замера следует исследовать точность его результатов.

Замер может быть безошибочным, только если замеряется величина дискретная, т.е. могущая принимать отдельные изолированные значения, а не промежуточные между ними. При любых измерениях разделяются три категории ошибок:

- систематические ошибки, имеющие в производимом замере постоянное или изменяющееся значение по некоторому закону,
- случайные ошибки, вызываемые неизбежными, многочисленными и разнообразными явлениями,
- грубые ошибки, вызываемые редкими, ненормальными нарушениями методики замера.

При исследовании точности измерений обращают особое внимание на случайные ошибки и по ним судят о точности замеров. Исследование случайных ошибок является необходимостью при всяком ответственном замере. Если одна и та же, постоянная во время опытов величина, определяется  $n$  раз в одних и тех же условиях, то получается  $n$  разных значений. За оценку истинного значения измеряемой величины при прямых неоднократных

измерениях принимают среднее значение  $X_{cp} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ , где  $x_i$  - результаты отдельных измерений,  $n$  - число измерений.

Так под средней абсолютной погрешностью отдельного измерения понимают среднее арифметическое из всех отклонений каждого отдельного

$$\frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n}$$

измерения от среднего арифметического:  $\Delta_{cp} X = \dots$ . Эту формулу следует применять при малом числе измерений. При большом числе измерений, как показано в курсе медицинской статистики, за оценку абсолютной ошибки среднего значения серии измерений принимают величину,

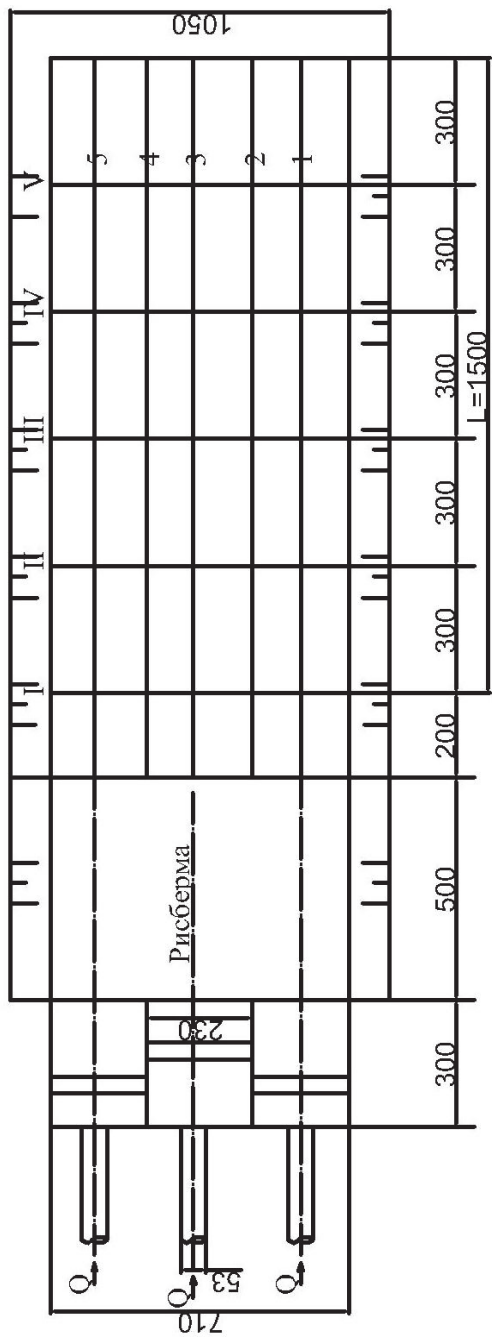
называемую доверительным интервалом:  $\Delta X = t \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{n(n-1)}}$ , где  $t$  – коэффициент Стьюдента, определяемый доверительной вероятностью (вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины попадает в доверительный интервал) и числом степеней свободы  $\nu = n - 1$  [1].

Для измерения скоростей течения нами использовалась методика Шапова Н.М. При площади живого сечения потока  $0,852 \text{ м}^2$  замер скоростей проводился нами в 5 вертикалях и на 5 поперечных створах, всего в 25 точках (рис. 1).

Расстояние между соседними вертикалями  $l_v = \frac{B}{5}, \text{ м}$ , где  $B$  – ширина гасителя энергии.

Время замера в точке составляло 60 сек и определилось с помощью секундомера. Для замера скоростей была использована микровертушка, а для измерения глубин воды в канале и воронки местного размыва – шпитценмасштаб. Температура воды измерялась ртутным термометром, и средняя температура составляла  $t = 8^{\circ}\text{C}$ . В проведенных нами опытах использовались как визуальные методы, так и фотографирование. Каждый расчетный расход пропускался через сооружение с различными глубинами в нижнем бьефе при различных режимах сопряжения. Величины расходов регулировались задвижками на подводящих трубах диаметром  $D = 53 \text{ мм}$  и измерялись с помощью водослива трапецеидального типа (водослив Чиполетти) с  $tg\alpha = 0,25$ , используя формулу  $Q = 1,86bh^{3/2}$ , в  $\text{м}^3/\text{с}$  ( $b$  – ширина водослива по дну,  $h$  – глубина наполнения водослива) [2]. Стабилизация гидравлических режимов на экспериментальной установке достигалась в течение 15 минут. При изучении местных размывов размываемый грунт заранее 1 день промывался водой и в начале опыта, до стабилизации режима, прикрывался оргстеклом толщиной 3мм, которое затем осторожно убиралось, сразу со всей рабочей поверхности канала и на протяжении 45 мин, осуществлялся пропуск заданного расхода для того чтобы затем посмотреть, как сформировалась воронка местного размыва [6]. Измерение расходов осуществлялось в лотке третьего уровня при равномерном движении воды. Тонкостенные трапецеидальные водосливы, как правило, предназначены для измерения расхода жидкости, когда нет значительного количества крупных взвешенных частиц в каналах.





1,2,... номер продольного остова

I,II,... номер поперечного створа

**Рис. 1.** Схема замера скоростей по продольным и поперечным створам

В процессе модельных гидравлических исследований многосекционного гасителя энергии ударного действия определены ниже перечисленные:

1. Расход.
2. Местные скорости потока.
3. Свободная поверхность и глубина потока в канале.
4. Глубина воронки размыва.

Глубина потока в канале  $h$  измерялась с помощью шпитценмасштаба и точность снятия отсчета по шкале составляла 0,1мм. Предельные расхождения при колебании уровня воды в канале с использованием шпитценмасштаба составляли 0,3---0,5мм.

Суммарная абсолютная ошибка при измерении глубин равна:

$$\Delta h = (0,3---0,5) + 0,1 = 0,4---0,6 \text{ мм.}$$

Глубины потока при измерении находились в диапазоне от 40 до 90 мм, чему соответствует относительная ошибка измерения глубин:

$$\theta h = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\% = \frac{0,4...0,6}{40...90} = (1 \dots 0,67)\%$$

Величины расходов регулировались задвижками на подводящих трубах диаметром  $D_{тр} = 53\text{мм}$  и измерялись с помощью водослива трапецеидального типа (водослив Чиполетти). Абсолютная ошибка определения нуля мерного водослива шпитценмасштабом определена с точностью 0,1мм; а ошибка при колебании уровня воды на мерном водосливе и при снятии значений с точностью 0,2мм. При этом суммарная абсолютная ошибка при измерении напора над гребнем мерного водослива равна:

$$\Delta h = 0,1 + 0,2 = 0,3 \text{ мм.}$$

Предельная относительная ошибка, определяющая точность измерения расхода в диапазоне от 2,4л/с до 13,67л/с при глубине потока от 25 мм до 60 мм можно определить по зависимости:

$$\theta Q = \frac{5}{2} \theta h \cdot 100\% = 2,5 \cdot \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\% = 2,5 \cdot \left( \frac{0,3}{25 \dots 60} \right) \cdot 100 = (1,2 \dots 0,5)\%$$

В процессе экспериментов местные скорости потока измерялись с помощью микровертушкой диаметром 16 мм с точностью измерения 1%.

Предельная точность измерения скорости достигала 2 мм, а максимальная скорость потока в канале за конструкцией трехсекционного гасителя и элементов шероховатости в шахматном порядке на рисберме и зуба Ребока на его краю достигала 55 мм/с. Относительная ошибка, определяющая точность измерения скорости:

$$\theta v = \frac{2}{55} \cdot 100\% = 3,64\% \quad , \quad \text{а суммарная предельная относительная}$$

точность измерения скорости:

$$\theta v = \left( \frac{1}{2} \cdot 3,64 + 1 \right) \% = 2,82\%$$

### **Выводы**

Точность измерения расхода по трапецеидальному водосливу (водослив Чиполетти)  $\theta Q = (1,2 \dots 0,5)\%$  соответствовала требованиям к показателям точности измерений, которые говорят, что значения должны находиться в диапазоне от 0,03 до 10 %. Суммарная предельная относительная точность измерения скорости  $\theta v = 2,82\%$  показывает, что поскольку она меньше 5%, распределение их величин близко к нормальному закону распределения. Относительная ошибка измерения глубин  $\theta h = (1 \dots 0,67)\%$  доказывает, что при исследовании колебаний воды в канале с помощью шпитценмасштаба возникало мало возмущений поверхности потока в нижнем бьефе сооружения, что позволяло получить хорошую степень равномерности распределения местных скоростей в нижнем бьефе сооружения.

## ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ ПОСЛЕ РЕЛИНИНГА

**В.И. Алтунин, кандидат технических наук, доцент**  
ФГБОУ ВО «МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (МАДИ ГТУ)

**О.Н. Черных, кандидат технических наук, профессор**  
ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА»,  
г. Москва, Россия

*Приведены результаты экспериментальных гидравлических исследований спиральной металлической гофрированной трубы. Рассматривается её работа в различных гидравлических режимах, даются рекомендации по назначению расчетного режима.*

*Спиральновитая металлическая гофрированная водопропускная труба, экспериментальные исследования, гидравлические режимы работы.*

*The results of experimental research of culvert constructions of corrugated metal pipes. Identifies the main factors that determine the depth and speed of the water flow on the output section of the pipes with a smooth bottom tray.*

*Corrugated metal pipes, experimental studies, pressureless and middle pressure modes, smooth pan, roughness coefficient.*

В последнее время происходит прогрессирующее ухудшение состояния как малых и средних транспортных мостов, так и водопропускных сооружений на водотоках разного класса. Это связано с воздействием окружающей среды, физическим износом и старением материалов и конструкций, растущими объёмами автомобильных перевозок, повышением осевых нагрузок и скоростей движения транспорта, отсутствием или неудовлетворительной работой службы эксплуатации. Многие из эксплуатируемых переездов, мостов и перепускных сооружений находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют капитального ремонта или реконструкции. Например, неудовлетворительное или аварийное состояние имеют 40 % всех малых и средних мостов Новосибирской области [1] и около 51% в Московской губернии [2].

В настоящее время, как в России, так и за рубежом при проведении капитального ремонта дорожных водопропускных сооружений используется метод релининга. Релининг при использовании труб диаметром более 1,5 м позволяет экономить финансовые средства, по сравнению с другими бестраншейными методами восстановления трубопроводов и позволяет или полностью обойтись без земляных работ или существенно сократить их объём. При этом реконструируемое водопропускное сооружение заменяется трубой из металлических гофрированных конструкций (МГК). Работы ведутся без удаления существующего сооружения и поэтому не сопровождаются нарушением непрерывности работы транспортной магистрали. Если осуществляется замена круглой (или прямоугольной) бетонной трубы, то металлическая гофрированная труба (МГТ) вставляется (вдвигается) в неё и поэтому метод получил и другое название – «гильзование» (sleeving). Вставляемая МГТ имеет меньший размер, чем бетонная, а пространство между ними заполняется бетоном (рис. 1).

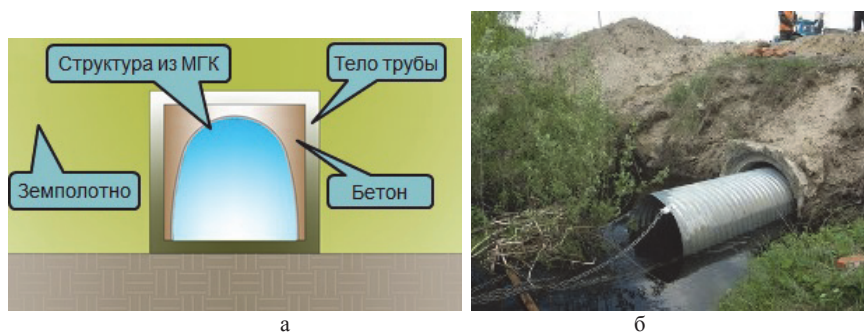


Рис. 1. Релининг водопропускных сооружений с применением МГК [2]:  
а – схема реконструкции труб методом «гильзования»; б – процесс релининга  
одноочковой бетонной трубы СМГТ, ООО «ВиаКон СейфРоуд»

Из гофрированных труб для релининга больше подходят спиральновитые металлические гофрированные трубы (СМГТ). Это объясняется тем, что СМГТ выпускаются секциями (длиной до 13,5 м) и при монтаже соединяются на бандажах. Поэтому конструкция в целом получается жесткая. МГТ же с

нормальным гофром собираются из отдельных конструктивных элементов на болтах и поэтому жесткость собранной конструкции пониженная. Использование СМГТ позволяет сократить и сроки строительства, поскольку время её монтажа минимальное. Анализ условий работы и технического состояния как вновь построенных, так и реанимированных объектов по указанной технологии, свидетельствует о высокой эффективности применяемых в строительстве миксированных конструктивных систем «габионные структуры - гофрированные трубы» при замене традиционных конструкций мостов на трубы [2]. Используемые конструктивные решения для многоочковых сооружений или сооружений большого диаметра позволяют обеспечить гарантированный пропуск расхода величиной до 200...300 м<sup>3</sup>/с.

Однако релининг имеет и недостаток, который заключается в том, что происходит замена большего по размерам закрытого водопропускного сооружения меньшим. Поэтому новая труба из металлических гофрированных структур может не обеспечить пропуск расчетного расхода, на который была запроектирована гладкая труба, что рано или поздно приведет к аварийной ситуации и возможно к деформации или разрушению водопропускного сооружения или земляной насыпи. Для недопущения этого и повышения надёжности работы всего искусственного водного сооружения в целом, необходимо предусмотреть мероприятия по увеличению пропускной способности гофрированной трубы, что можно сделать за счет изменения условий её гидравлической работы при пропуске расчетного расхода.

Гладкие водопропускные дорожные трубы, не зависимо от материала из которого они сделаны (бетон, сталь, дерево, пластик и пр.) в нашей стране обычно проектируются на работу в безнапорном режиме, при котором входной оголовок не затоплен, а движение водного потока в трубе безнапорное. Работа гладкостенных труб в полунапорном и напорном режимах, при которых входной оголовок затоплен, не допускается. Объясняется это тем, что работающая в полунапорном режиме гладкостенная водопропускная труба

может «зарядиться» и безнапорное движение водного потока в ней сменится напорным.

Формирование напорного режима после «зарядки» гладкостенной трубы приводит к увеличению её пропускной способности по сравнению с полунапорным режимом, которое тем значительнее, чем больше уклон трубы. Если расход  $Q$ , подаваемый к трубе, поддерживается постоянным, то происходит уменьшение напора  $H$  в верхнем бьефе перед трубой. Если при этом уровне входной оголовок затоплен и в трубу не происходит поступления воздуха со стороны входного оголовка, за счет малой величины его затопления, то труба начинает работать в напорном режиме, что может происходить только при очень малых (близких к нулю) уклонах трубы.

Снижение пропускной способности трубы за счет уменьшения  $H$  происходит до некоторого минимального уровня, при котором в трубу начинает поступать воздух. Если пропускная способность водопропускной трубы при этом оказывается выше подаваемого расхода, то дальнейшее снижение пропускной способности трубы происходит за счет поступления в неё воздуха. В трубе формируется переходный режим. Характер движения воздуха, поступающего в трубу при переходном режиме, зависит от конструкции входного оголовка. При типовых конструкциях входных оголовков (портальный, раструбный и др.), в трубе формируется гидравлический прыжок, который захватывает поступающий в неё воздух. При этом на начальном участке трубы, перед прыжком, движение водного потока безнапорное с вакуумметрическим давлением на свободной поверхности, а за прыжком – труба работает полным сечением, но водный поток насыщен пузырьками воздуха.

Если же входной оголовок «самозаряжающийся», то поступающий в трубу воздух перемещается по ней в виде воздушных пузырей и водяных пробок.

В гладкой трубе возможно формирование и ещё одного вида переходного режима. Возникает он в том случае, если после «зарядки» трубы при полунапорном режиме и уменьшении напора  $H$ , происходит не формирование

вышеописанных переходных режимов, а «разрядка» трубы. Труба начинает работать в полунапорном режиме, её пропускная способность снижается, напор  $H$  увеличивается и если произойдет повторная «зарядка» трубы, то формируется крайне неблагоприятная форма переходного режима с периодической «зарядкой» и «разрядкой» трубы, а также резкими повышениями и понижениями уровня воды перед трубой. Работа гладкостенной водопропускной трубы в переходных режимах недопустима, поэтому её обычно проектируют на пропуск расчетного расхода в безнапорном режиме.

В современных Рекомендациях по проектированию и строительству труб из металлических гофрированных структур в РФ [3] на постоянно действующих автодорогах в качестве расчетного режима работы МГТ так же принимается безнапорный режим. Между поверхностью потока в трубе диаметром до 3,0 м и шельгой её свода должен сохраняться зазор не менее  $\frac{1}{4}$  отверстия трубы в свету, а в трубах диаметром более 3,0 м – не менее 0,75 м. Кроме того, ограничивается заполнение входного и выходного сечений МГТ при пропуске расчетного и наибольшего расходов в безнапорном режиме, величина которого не должна превышать соответственно 0,75 и 0,9 от высоты МГТ.

Такие ограничения объясняются желанием сохранить безнапорный режим работы МГТ и в том случае, если поступающий к сооружению расход превысит расчетный. «Зарядка», переход к напорному режиму и работа в нем, как отмечается в Руководстве [3], «сопровождается резкими колебаниями уровня воды перед насыпью и вибрациями МГТ, что сокращает срок её службы».

Зарубежные рекомендации по назначению расчетного режима, во-первых, многообразнее и, во-вторых, не исключают работу МГТ ни в одном из возможных гидравлических режимов – безнапорном, полунапорном, частично-напорном и напорном [4 - 8]. Вероятно, считается, что после «зарядки» трубы переходные режимы или не формируются, или работа в них не считается опасной.



По одной из применяемых в США концепций по назначению расчетного режима при проектировании МГТ [4] допускается работа МГТ в любом гидравлическом режиме. Однако оговаривается, что при пропуске расчетного расхода величина гидростатического напора перед трубой  $H$  не должна превышать  $1,25d$ , т.е.  $H/d \leq 1,25$ , а величина максимально допустимого предельного напора составляет  $(H/d)_{\max} = 3 \dots 5$ . Практически такой же подход и в последнем справочнике по гидравлическим расчетам дорожных водопропускных труб [5], но величина относительного напора перед МГТ не ограничивается, хотя указывается, что перелив через дорожную насыпь при пропуске расчетного расхода допускать не следует.

В справочнике [6] также ограничивается величина относительного напора  $H/d$ :

- при  $d \leq 1,2$  м (48 дюймов) -  $H/d \leq 1,5$ ;
- при  $d > 1,2$  м (48 дюймов) -  $H/d \leq 1,2$ .

Указывается, что уклон МГТ не должен превышать 25 %, т.е.  $i_r \leq 0,25$ , что существенно больше  $i_r = 0,05$ , который принимается в РФ с 2009 г. в качестве максимально допустимого [3].

Такой же подход используется и в справочнике по автомобильным дорогам [7], но даются свои рекомендации:

- при  $d \leq 4,5$  м -  $H/d \leq 1,5$ ,
- при  $d > 4,5$  м -  $H/d \leq 1,0$ .

В справочнике [8] приводятся самые детальные рекомендации по назначению величины максимально допустимого относительного напора:

- при  $d < 0,91$  м (36 дюймов) -  $H/d \leq 2,0$ ;
- при  $d = 0,91$  м (36 дюймов) – 1,52 м (60 дюймов) -  $H/d \leq 1,7$ ;
- при  $d = 1,52$  м (60 дюймов) – 2,13 м (84 дюйма) -  $H/d \leq 1,5$ ;
- при  $d = 2,13$  м (84 дюйма) – 3,05 м (120 дюймов) -  $H/d \leq 1,2$ ;
- при  $d = 3,05$  м (120 дюймов) и более -  $H/d \leq 1,0$ ;

Во всех зарубежных справочниках при  $d \leq 3$  м рекомендуемый напор  $H$  перед МГТ при пропуске расчетного расхода обеспечивает затопление входного оголовка и поэтому труба может работать в полунапорном, частично-напорном или напорном гидравлических режимах.

Очевидно, что если допустить работу МГТ в полунапорном, частично-напорном или напорном режимах, как это делается за рубежом, то её пропускная способность заметно увеличивается. Однако ни в России, ни в рассмотренных справочниках не приводятся данные об условиях «зарядки» СМГТ и её работы в частично-напорном и напорном режимах.

В лаборатории МАДИ проводятся гидравлические исследования модели СМГТ с внутренним диаметром  $d = 240$  мм и гофром  $25 \times 5$  мм (угол спиральности  $\varphi = 9^{\circ}21'$ ), которая в масштабе 1:5 моделирует натурную трубу  $d = 1200$  мм с гофром  $125 \times 25$  мм [9]. Исследуемая модель трубы состоит из четырех секций, соединяемых на фланцах с общей длиной  $\ell = 408$  см с уклонами  $i_r = 0,03$  и  $i_r = 0,05$ . На входе устанавливались три вида оголовков: раструбный, порталная стенка и вход без оголовка со срезом перпендикулярным оси трубы, а на выходе - порталная стенка. Моделирование СМГТ проводится по Фрудру с назначением масштаба модели из условия обеспечения при напорном движении водного потока квадратичной области сопротивления и диаметра трубы не менее 20 см. Согласно исследованиям ЦНИИС [9], при меньшем размере модели гофрированной трубы на гидравлические сопротивления может влиять размер модели, т.е. сказываться масштабный эффект.

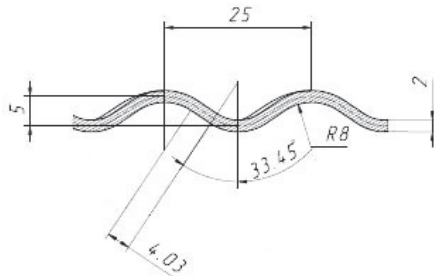


Рис. 3. Вид исследуемого спирального гофра. Размеры даны в мм

Поскольку секции СМГТ соединяются на бандажах и концевые участки секций труб имеют нормальную форму гофра размером 68 x 13 мм, то в экспериментах длина концевых участков исследуемой модели составляла три длины волны гофра (13,54 x 2,54 мм при масштабе 1: 5). Обычно диаметр гофрированных труб, в том числе и со спиральной формой гофра, устанавливается по минимальному внутреннему диаметру, который является расчетным. Модель гофрированной трубы была выполнена из полупрозрачного стеклопластика (рис. 4), что позволяло наблюдать свободную поверхность водного потока при безнапорном движении в месте её контакта со стенкой трубы. Для регистрации поверхности воды в трубе при безнапорном движении и пьезометрического давления в различных сечениях по длине трубы при напорном, по её дну между выступами гофров (у внешнего диаметра), были установлены пьезометры.



Рис. 4. Экспериментальная установка СМГТ в МАДИ:

а – входной участок (безголовочный вход); б – транзитная часть при безнапорном движении водного потока, оборудованная пьезометрами

Подводящий и отводящий к трубе лотки имели прямоугольную форму и выполнялись из оргстекла. Уровни свободной поверхности воды перед трубой и за ней регистрировались с помощью мерной иглы. Расходы  $Q$  измерялись треугольным водосливом Томсона с тонкой стенкой. Обработка опытных данных осуществлялась по специально составленной компьютерной программе [2].

Проведенные экспериментальные исследования модели СМГТ показали, что изменение уклона в исследованном диапазоне  $i_T = 0,03 \dots 0,05$  не оказывает заметного влияния на её пропускную способность при безнапорном режиме. СМГТ работает по типу «короткой» и на её пропускную способность влияет только конструкция входного оголовка.

При максимально допустимом заполнении потоком на входе  $h_{вх}/d = 0,75$  исследованная модель СМГТ с оголовками порталная стенка, вход без оголовка со срезом перпендикулярном оси трубы и раструбном пропускает расходы, соответствующие следующим безразмерным параметрам расхода  $\theta = \frac{Q}{d^2 \sqrt{gd}}$  : 0,29; 0,29 и 0,345. Как видим, при раструбном входном оголовке пропускная способность СМГТ максимальная, а при порталной стенке и входе без оголовка она одинаковая.

С затоплением входного оголовка безнапорный режим плавно сменяется полунапорным режимом. Исследуемая модель СМГТ с различными типами входного оголовка во всем диапазоне существования полунапорного режима работает по типу «короткой». Об этом свидетельствует регистрировавшийся визуально характер движения водного потока в трубе. За сжатым сечением по всей длине трубы поток находится в бурном состоянии, а движение потока практически равномерное.

Пропускная способность трубы определяется её размером ( $d$ ), конструкцией входного оголовка и величиной относительного напора перед трубой  $H/d$ . С увеличением уклона трубы в исследованном диапазоне  $i_T = 0,03 \dots 0,05$  несколько улучшаются условия входа, что сказывается на её пропускной способности. Однако влияние это небольшое и его можно не учитывать.

При относительном напоре  $H/d = 1,2$  исследуемая СМГТ с оголовками порталная стенка, вход без оголовка со срезом перпендикулярном оси трубы и раструбном пропускает расходы соответственно с параметром  $\theta = 0,53$ ; 0,52 и 0,55. Как можно видеть, влияние типа входного оголовка на пропускную

способность исследуемой модели СМГТ при полунапорном режиме оказывается практически таким же, как и при безнапорном режиме. Максимальную пропускную способность СМГТ имеет при раструбном оголовке, а при оголовке порталном и входе без оголовка со срезом перпендикулярным оси трубы пропускная способность практически одинаковая.

Сравнивая пропускную способность СМГТ при безнапорном режиме с максимально допустимой степенью заполнения на входе ( $h_{\text{вх}}/d = 0,75$ ) с её пропускной способностью при полунапорном режиме при относительном напоре  $H/d = 1,2$  видим, что при полунапорном режиме она существенно выше. Для раструбного входного оголовка увеличение составляет примерно 59 %, для порталного – 83 % и для входа без оголовка со срезом перпендикулярным оси трубы – 79 %.

Если допустить работу СМГТ в полунапорном режиме с относительным напором  $H/d = 1,5$ , то происходит более существенное увеличение пропускной способности трубы по сравнению с безнапорным режимом. Для оголовков раструбного, порталная стенка и входа без оголовка, со срезом перпендикулярным оси трубы, пропускаемые СМГТ параметры расхода соответственно равны  $\theta \approx 0,68; 0,67; 0,63$  (0,7) и увеличение составляет 97 %, 131 % и 117(141) %.

При входе без оголовка, перпендикулярном оси трубы, приводятся два значения параметра расхода  $\theta_1 \approx 0,63$  (при  $i_t = 0,05$ ) и  $\theta_2 \approx 0,7$  (при  $i_t = 0,03$ ). Такое отличие объясняется разными режимами гидравлической работы СМГТ при этих уклонах. При  $i_t = 0,05$  СМГТ работает в полунапорном режиме, а вот при  $i_t = 0,03$  СМГТ работает в частично-напорном режиме, что и приводит к увеличению пропускаемого ею расхода. «Зарядка» СМГТ с входом без оголовка и срезом перпендикулярном оси трубы при  $i_t = 0,03$  происходит при  $(H/d)_{\text{зар}} \approx 1,49$  и  $\theta_{\text{зар}} \approx 0,63$ . Пропускная способность СМГТ после «зарядки» несколько увеличивается, что приводит к уменьшению относительного напора перед трубой с  $(H/d)_{\text{зар}} = 1,49$  до  $H/d \approx 1,4$ , т.е. весьма незначительному. После

«зарядки» в трубе не формируется вакуумметрическое давление и неблагоприятный переходный режим, как это происходит в гладких бетонных трубах, а СМГТ начинает работать в устойчивом частично-напорном режиме.

Подобным образом происходит «зарядка» СМГТ ( $i_t = 0,03$ ) с раструбным оголовком и порталной стенкой, которая наступает при относительных напорах  $(H/d)_{\text{зар}} \approx 1,66$  и  $1,61$  и параметрах расхода соответственно  $\theta_{\text{зар}} \approx 0,756$  и  $0,714$ . Поэтому при сопоставляемом значении  $H/d = 1,5$  водопропускная труба с этими оголовками работает в полунапорном режиме. При уклоне  $i_t = 0,05$  СМГТ со всеми исследованными типами входного оголовка «заряжается» так же, как и при  $i_t = 0,03$ , но при несколько больших значениях  $(H/d)_{\text{зар}}$  и  $\theta_{\text{зар}}$ . Поэтому при  $H/d = 1,5$  она работает со всеми оголовками в полунапорном режиме.

Таким образом, экспериментальные исследования показывают, что спиральновитые металлические гофрированные трубы (СМГТ) допустимо проектировать на работу в полунапорном и частично-напорном режимах при пропуске расчетного расхода. Это позволяет существенно увеличивать её пропускную способность: до 60...140 % по сравнению с безнапорным режимом её работы с допустимой степенью заполнения на входе  $h_{\text{вх}}/d = 0,75$ . Учитывая, что пропускная способность бетонной и гофрированной труб при безнапорном режиме близки, то изменение расчетного режима при замене разрушенной бетонной трубы после релининга на СМГТ позволяет не только не допустить снижения пропускной способности реконструированного сооружения, но напротив – её даже увеличить. Это, в свою очередь, повышает эффективность работы и безопасность всего отремонтированного водопропускного сооружения.

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ И СООРУЖЕНИЙ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ СТОЛИЧНЫХ ПРУДОВ**

***В.И. Волков, кандидат технических наук, профессор,***

***О.Н. Черных, кандидат технических наук, профессор***

*ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА»,*

***В.И. Алтунин, кандидат технических наук, доцент***

*ФГБОУ ВО «МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (МАДИ)  
г. Москва, Россия*

Рассматриваются различные подходы к оценке безопасности нижнего бьефа низконапорных городских гидроузлов и параметров волны прорыва при аварии гидротехнических сооружений в условиях сложившейся городской инфраструктуры и на территориях, присоединяемых к городским.

Various approaches to an assessment of safety of the lower byef of low pressure city water-engineering systems and parameters of a wave of break at failure of hydraulic engineering constructions in the conditions of the developed city infrastructure and in the territories attached to the city are considered.

Ключевые слова: безопасность, грунтовая плотина, водосброс, волна прорыва, зона затопления, сценарии аварий, каскад прудов, усадебный гидроузел, ущерб при аварии.

Keywords: safety, a soil dam, a spillway, a break wave, a flooding zone, scenarios of accidents, the cascade of ponds, the farmstead water-engineering system, damage at accident.

В рамках интенсивной урбанизации московской территории одним из актуальных вопросов городской гидротехники является обеспечение безопасности с одновременным решением проблем сохранения, природоприближённого восстановления, реставрации и реконструкции столичных природных территорий и их гидротехнических систем. Большое внимание при оценке безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) для урбанизированных территорий следует обращать на реконструкцию старых плотин, особенно усадебных гидроузлов, исторически оказавшихся в густо населённых районах столицы.

Из общего количества московских прудов (в 2011 г. их было примерно

650) около 16% раньше были пригородными усадебными [1]. Сейчас «старые» пруды имеют статус памятников культуры и парковых ландшафтов Москвы. Чаще всего они располагаются на ООПТ. Некоторые из них были реконструированы в середине прошлого столетия, во время индустриального подъёма жилищного и капитального строительства, проводившегося в 1960-1980 гг. в Москве. Однако в результате такого благоустройства, когда работы велись без каких-либо экологических обоснований и ограничений, многие столичные пруды полностью утратили характеристики природного водоёма и необходимые элементы для функционирования водной экосистемы (Советский пруд в Перово, пруды в Кусково, Останкино, Люблино, Петровско-Разумовское, Головинские пруды в Михалково и многие другие) [2]. Поэтому сегодня большая часть «старых» прудов мегаполиса (51%) подлежат реставрации и капитальному ремонту [3]. В связи с расширением границ Москвы число водоемов существенно увеличилось. Относительно недавно в городскую черту попал ещё ряд прудов: в усадьбах Чернево, Бутово, Захарьино; в новых районах Куркино, Щербинке, Митино, Рождествено, Переделкино, Солнцево и другие пруды в Новой Москве (порядка 170). Испытываемые страной экономические проблемы привели к тому, что реализация, как среднесрочной, так и долгосрочной (до 2020г.) программ восстановления водных объектов в Москве практически приостановлены. В 2014 г. велись работы практически по восстановлению лишь одного пруда в Останкино. Для сохранения экологического каркаса города, развития туризма и рекреационных зон Департаментом жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства Москвы и Департаментом природопользования и охраны окружающей среды сделан упор на обновление и восстановление наиболее крупных рек Москвы и области: Яузы, Сетуни, Лихоборки и Москва-реки.

Как показывают натурные обследования, проводимые на кафедре гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА, сегодня водная система некоторых столичных парковых объектов полностью разрушена и представляет собой отдельные самостоятельные элементы («Братцево»,



«Студенец», «Алтуфьево», ряд старинных пригородных усадеб в Щербинке, Балашихе, Королёве, Мытищах и других, граничащих с Москвой территориях Московской области). Практически руинировано порядка 9 % московских прудов. Анализ технического состояния водоёмов Москвы в административных округах показал, что для разных АО процент объектов, требующих капитального ремонта, среди обследованных прудовых гидроузлов составляет от 15 до 52 %. В удовлетворительном состоянии находятся от 3 до 23% водоёмов. Состояние лишь 3...16% прудов можно квалифицировать как хорошее [1 - 3].

В условиях мегаполиса со сформировавшейся гидросетью можно вычленил два типа современных городских прудов: плотинные (напорные) (менее 40 %) и наливные (безнапорные) (около 56 %). В настоящее время в Москве имеются 4 водоёма объёмом более 0,5 млн м<sup>3</sup>, объёмом 0,5...0,1 млн м<sup>3</sup> - порядка 45, остальные имеют объём менее 0,1 млн м<sup>3</sup>. Большинство ГТС эксплуатируются более 40...50 лет. Необходимость их реконструкции определяется, в первую очередь, такими обстоятельствами как: старение конструкции; повреждение отдельных элементов ГТС; несоответствие принятых при строительстве решений современным требованиям безопасности; изменение либо уточнение гидрологических данных в период эксплуатации гидроузла; изменение по ряду обстоятельств класса ГТС.

Для гидроузлов Москвы наблюдается негативная тенденция увеличения числа сооружений с опасным и неудовлетворительным уровнем безопасности (в соответствии с терминологией, используемой в Российском Регистре ГТС). Именно для таких гидроузлов наиболее опасными сценариями развития гидродинамических аварий будут деформация и разрушение напорного фронта сооружений. По результатам обследований столичных водоёмов установлено, что 176 из них образованы грунтовыми плотинами и дамбами (состояние на 2012 г.). Высоту 5...10 м имеют 24 плотины (16 %), более 10 м - 2 плотины (1 %), 3...5 м - 64 плотины (36 %), менее 3 м - 63 плотины (35 %). Несомненно, наибольшую опасность для окружающей территории с точки зрения

возможности развития гидродинамической аварии имеют пруды с развитым напорным фронтом, который формируется в основном однородными земляными плотинами (99%). Использование для этой цели плотин из бетона и камня в мегаполисе ограничено (Борисовская плотина).

Безопасность низконапорных гидроузлов также во многом определяется наличием и состоянием водопропускных и, в частности, водосбросных сооружений. На прудах Москвы функционируют 164 водосбросных сооружений, из которых преобладают трубчатые водосбросы (94 %). Среди них наиболее распространены нерегулируемые (башенные, шахтно-башенные, безбашенные и др.). Приплотинные водосбросы часто совмещены с водовыпускными сооружениями, но достаточно полных данных по ним нет. Паводковые водосбросы и водовыпуски в подавляющем большинстве находятся в предаварийном или аварийном состоянии [1, 3].

В мегаполисе - более 80 каскадов с запруженными прудами, которые влияют на работу друг друга. Так на р. Городне было обследовано 3 каскада, состоящих из 21 пруда, на р. Очаковке - 2 каскада из 11 прудов, на р. Битце с притоком р. Журавенки – 2 каскада из 10 прудов и т.д. Напоры на подпорных сооружениях каскадных гидроузлов составляют в основном 2...6 м, а расстояния между ними не превышают нескольких десятков километров (пруды усадеб Петровско-Разумовское, Битца-Садки, Кусково, Кузьминки-Влахернское, Люблино и пр.). Иногда пруды каскада непосредственно отделяются друг от друга перегораживающими дамбами или плотинами (пруды в столичных усадьбах Узкое, Чернево, Михалково, Покровское-Стрешнево и др.). Поэтому наиболее неблагоприятными аварийными ситуациями на таких гидроузлах являются возможные повреждения или разрушение плотины вышележащего пруда. В целом состояние водоподпорных сооружений водоемов Москвы в основном удовлетворительное. Однако примерно 12 % из общего числа обследованных плотин находится в потенциально опасном или аварийном состоянии вследствие недопустимо малого запаса гребня плотины над уровнем верхнего бьефа (например, пруд № 2 в Толстопальцево ЗАО,

плотина между прудами № 5 и № 6 в парке усадьбы Покровское-Стрешнево СЗАО) или высачивания фильтрационных вод на низовом откосе (в зоне отдыха на Битцевской плотине, плотинах между прудами в Чернево, в одной из самых высоких плотин Москвы на Барышихинском пруду, плотинах каскада Царицынских прудов и др.).

В истории гидротехнического строительства имеются реальные примеры аварий, связанных с несоответствием пропускной способности водосбросов стоку экстремального паводка, а так же с состоянием водосбросов или с неправильными действиями эксплуатационного персонала. Реконструкция водосбросов старых плотин в настоящее время входит в практику мировой гидротехники, что требует разработки общих конструктивных подходов и конкретных предложений, например, к перепроектированию входного оголовка или устройств нижнего бьефа, в частности, водобойных колодцев и т.п. По разным причинам на данный момент это обстоятельство в проектах реконструкции и восстановления городских гидроузлов в мегаполисе учитывается не достаточно. Зачастую при реконструкции используется упрощённая и неэффективная конструкция водосбросного сооружения либо проводятся лишь косметические мероприятия (подсыпка гравия или песка, добетонировка, замена берегоукрепления и пр.). Если водосброс не реконструировать, то актуальными становятся меры по усилению элементов конструкции плотин, модернизации дренажной системы, и обязательное расширение системы мониторинга.

Для прудов Москвы при рассмотрении схем возможных сценариев развития аварий при чрезвычайной ситуации на «старых» гидроузлах из двух групп факторов (природного и антропогенного характера - аварии на вышерасположенных гидроузлах, террористические акты, ошибки проектирования при реконструкции и восстановлении водного объекта, строительства, эксплуатации ГТС, неправильные действия или бездействие персонала в нештатных ситуациях, нарушения, вызванные очень длительным сроком эксплуатации сооружений и т.д.), которые обычно обуславливают

аварии ГТС, с учётом типа, конструкции и состояние ГТС плотины и их отдельных элементов, можно вычлениить следующие возможные источники опасности:

- нарушение устойчивости откосов грунтовой плотины;
- нарушение фильтрационной прочности тела и/или основания грунтовой плотины;
- нарушение фильтрационной прочности грунтов тела плотины на контакте с отводящими трубами закрытого водосброса;
- недостаточная пропускная способность водопропускных отверстий ГТС.

Начальной фазой возможной гидродинамической аварии на гидроузлах, как правило, является прорыв подпорного сооружения (плотины или дамбы) [4]. При прорыве напорного фронта гидроузла в проран поступает водный поток, имеющий значительную скорость движения. Этот неуправляемый поток воды из водоёма через проран устремляется в нижний бьеф гидроузла. В его фронте образуется волна прорыва, обладающая огромной разрушительной силой.

Для каждого водохранилища, на котором по данным прогноза авария может привести к подъему воды на высоту более 1м, должны разрабатываться атласы или карты возможного (вероятного) чрезвычайно опасного затопления и определяться характеристики волны прорыва, поскольку на этой территории возможны наиболее тяжелые последствия для населения и сильные разрушения [5].

Расчёты образования прорана при прорыве подпорного ГТС, оценку параметров и распространение волны прорыва на территории нижнего бьефа можно выполнить по пакетам отечественных или зарубежных программных комплексов, использующих одномерные и двухмерные схемы гидравлических и гидрологических расчётов пропуска паводков, потоков течений и последствий их воздействий в нижнем бьефе: MIKE 11 и MIKE 21, разработанных DHI Water and Environmental (Дания, 2003); «SV\_1», разработанным С.Я. Школьниковым; «Бор» и «River», разработанных В.В. Беликовым. Наиболее достоверные параметры волны можно получить,

построив физическую модель водохранилища и рельефа ниже по течению водотока.

Существует так же ряд упрощенных методов, разработанных для предварительной приближенной оценки параметров волны прорыва, а в некоторых менее ответственных случаях и для окончательного прогноза ее параметров. В этой связи составной частью выделенной проблемы - обеспечения безопасности при техногенных катастрофах на урбанизированных территориях и сохранению историко-культурного наследия России, является решение задачи корректного определения параметров волны прорыва достаточно простыми инженерными методами, позволяющими оперативно оценивать степень опасности низконапорного гидроузла для нижнего бьефа.

Анализ результатов расчётов параметров волны прорыва при возможной аварии Истринского гидроузла, выполненный И.А. Секисовой показал, что модели, построенные с использованием одномерных уравнений Сен-Венана (программа «River» и программа MIKE 11) незначительно уступают по точности программе «Бор», базирующейся на решении двумерных уравнений Сен-Венана [5, 6]. Ошибка колеблется в пределах от 0,7 до 22,3 % при определении значений максимальной глубины затопления; от 0,7 до 19,1 % при определении значения максимального расхода; от 0,1 до 14,3% при определении времени добегания до расчётных створов; от 7,5 до 19,1% при определении значения времени, за которое отметка затопления в расчётных створах достигает своего максимального значения. И.А. Секисовой с учётом границ применимости этих методик, был сделан вывод о достаточной степени достоверности и значительной простоте расчёта по методике Б.Л. Историка для оценки состояния низконапорных гидроузлов Московской области [5, 6]. Весьма близкие результаты получаются при определении значения максимальной глубины затопления: ошибка по сравнению с двухмерной математической моделью колеблется в пределах от 0,3 до 14,6%; при определении значения времени добегания до расчётных створов – от 2,9 до 15,7 %. Причём наибольшие расхождения в результатах наблюдаются в створах,

расположенных вблизи к створу плотины. Графоаналитический метод Б.Л. Историка хотя и прост в использовании и недорог, но работа с безразмерными графиками и определение осреднённого поперечного сечения рассматриваемого створа является сравнительно сложным и трудоёмким процессом. Метод ориентирован, в основном, на случай отсутствия подпора в нижнем бьефе от нижерасположенной плотины.

Для апробации разработанных на кафедре ГТС основных принципов проведения детального анализа оценки безопасности ГТС гидроузла с грунтовой плотиной в 2013-2015 гг. при оценке состоянии 20 прудовых гидроузлов мегаполиса было выполнено сравнение различных методов расчёта волны прорыва, позволяющих с приемлемой точностью осуществлять предварительную экспертную оценку масштабов чрезвычайной ситуации в случае прорыва напорного фронта плотин столичных гидроузлов. Для этого проанализировав существующие методики, из них были выбраны 3 упрощённых: методика МЧС РФ, методика И.А. Сакисовой и Г.М. Каганова, компиляционная зависимость В.И. Волкова.

Модификации программы «Волна», используемой МЧС предназначены в основном для прогнозирования масштабов затопления местности и характеристик волны прорыва при разрушении средне и высоконапорных гидроузлов. Однако они так же позволяют оценить последствия разрушения гидроузлов при использовании в работах по исследованию аварий и катастроф на ГТС и более низкого класса. В упрощённой методике МЧС РФ (методика ВНИИ ГОЧС) с программным комплексом «Волна» основными параметрами поражающего действия волны прорыва приняты максимальные: глубина затопления, ширина затопления и скорость течения, время прихода фронта, гребня и хвоста волны прорыва. Кроме того, в результате вычислений приводятся данные о максимальном расходе воды в створе, высоте волны (превышение уровня воды над уровнем бытового потока) и максимальная отметка затопления. Площадь территорий и объекты, попадающие в зону затопления, устанавливаются путём нанесения на имеющуюся

топографическую карту границ максимального возможного затопления, определённых в расчётных створах [7].

Глубина затопления в зависимости от основных параметров гидроузла и условий распространения волны прорыва в нижнем бьефе может быть определена по эмпирической формуле И.А. Секисовой, выведенной для получения предварительных оценок масштабов вероятного вреда в случае аварии низконапорных гидроузлов [5]

$$h_{\max} = 2,5 W_{\text{вод}}^{-0,05} H_0^{0,98} n_0^{0,02} Q_0^{0,05} x^{-0,13}, \quad (1)$$

где  $h_{\max}$  - максимальная глубина волны прорыва, м;

$W_{\text{вод}}$  – объем водохранилища ВБ до начала аварии, м<sup>3</sup>;

$H_0$  – глубина водохранилища у плотины до начала аварии, м;

$n_0$  – шероховатость русла верхнего бьефа;

$x$  – расстояние от створа плотины до створа наблюдений, м;

$Q_0$  – расход воды в нижнем бьефе гидроузла до начала аварии, м<sup>3</sup>/с.

Начальные параметры для расчета максимальной глубины затопления устанавливаются в зависимости от принятого сценария аварии. Средняя относительная ошибка аппроксимации уравнения (1) по сравнению с проведением полноценного расчета по методике Б.Л. Историка составляет 12,8 %.

Формула (1) имеет ограничения и применима в следующем диапазоне изменения параметров: объем водохранилища  $W_{\text{вод}}$  от 50 до 5000 тыс. м<sup>3</sup>; глубина воды в верхнем бьефе у плотины  $H_0$  от 2 до 20 м; расход воды в нижнем бьефе гидроузла до начала аварии  $Q_0$  от 1 до 100 м<sup>3</sup>/с; длина водохранилища от 0,8 до 2 км при условии отсутствия подпора со стороны нижерасположенных ГТС; расстояние от створа плотины до рассматриваемого сечения  $x$  от 0,5 до 50 км; шероховатость  $n_0$  от 0,02 до 0,2. При этом отводящее русло принимается призматической формы с треугольным поперечным сечением и постоянным продольным уклоном дна.

При отсутствии данных, необходимых для использования формулы (1), определение максимальных глубин затопления в расчетных створах нижнего

бьефа каскада гидроузлов может быть осуществлено по зависимости (2), предложенной В.И. Волковым, или по графику (рис. 1), построенному на основании этой зависимости

$$h_{\max} = 0,34H_0 \left(\frac{x}{H_0}\right)^{-0,13} \quad (2)$$

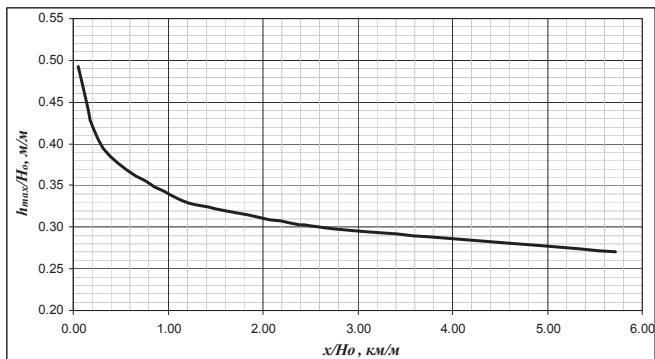


Рис. 1. График для определения максимальных глубин волны прорыва по зависимости (2)

Рассмотрим на примере частично реконструированного каскада прудов в усадьбе Чернево (табл. 1) определение параметров волны прорыва наиболее простыми инженерными методами, позволяющими оперативно оценивать степень опасности низконапорного гидроузла для нижнего бьефа.

Таблица 1

Основные габариты каскада прудов в усадьбе «Чернево»

№ пруда	$L$ , м	$B_{\max}$ м	$F$ , га	$h_{cp}$ , м
1	360	75	1,6	2,0
2	350	65	2,0	2,0
3	800	150	15	2,0

Где:  $L$  – длина пруда;  $B_{\max}$  – максимальная ширина пруда;  $F$  – площадь зеркала пруда;  $h$  – средняя глубина

Каскад прудов территориально находится на окраине города Москвы в ЮЗАО, к югу от МКАД – в районе Южное Бутово (рис.2). В 2011 г.-2014 гг. были проведены работы по очистке пруда и обустройству прилегающей парковой территории, практически не затрагивающие основные



гидротехнические сооружения гидроузла: грунтовую плотину и закрытый водосброс (рис. 3).

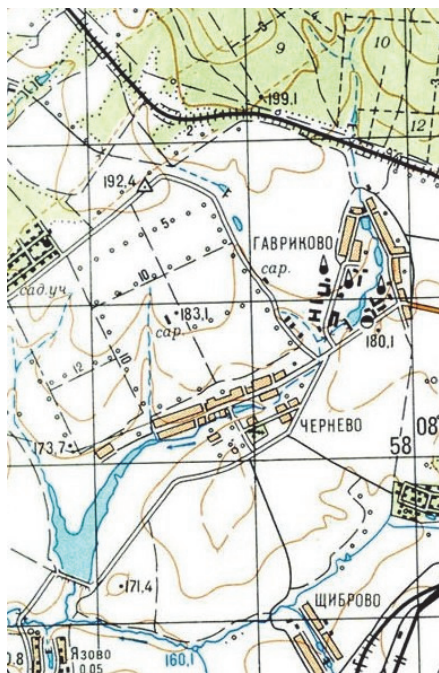


Рис 2. План территории с каскадом прудов в усадьбе Чернево (топография Южного Бутово до начала массовой застройки, 1985 г., ЮЗАО, 1:50000). Границы зоны затопления в нижнем бьефе при прорыве плотины №3 показаны красным цветом



Рис. 3. Некоторые элементы пруда №3 каскада в усадьбе Чернево, 2012 г.: а – нижний бьеф после реконструкции; б - остатки разрушенной плотины в верхней части пруда

Расчёты по рассмотренным методикам показали (табл. 2), что расхождения между значениями  $h_{\max}$ , подсчитанным по зависимостям (1) и (2), незначительны (менее 4...8%), а по программе МЧС составляют более 20%. Максимальная глубина затопления нижнего бьефа в районе створа плотины может составить порядка 3,5...4 м, а на расстоянии 250 м, где ранее проходила граница с Московской областью и начинаются участки частных строений и городские новостройки, её величина может быть около 2,3 м. Это грозит затоплением и значительным материальным ущербом частным домам микрорайона Язово, ЖК Новое Бутово и расположенному ниже по течению р. Цыганки садовым участкам и коттеджному посёлку Потапово.

Таблица 2

Результаты расчёта высоты волны прорыва ( $h_{\max}$ ), м для нижнего бьефа пруда №3 каскада в усадьбе Чернево

X, м	По методике ВНИИ ГОЧС программа «Волна»	По формуле (1) И.А. Секисовой	По зависимости (2) В.И. Волкова
50	4,33	3,24	3,18
100	3,37	2,96	2,90
200	2,91	2,71	2,65
300	2,5	2,04	2,05

Следует отметить, что для городских низконапорных гидроузлов на урбанизированной и густо застроенной территории, с забранными в коллектора отводящими руслами водотоков, а иногда засыпанными и спланированными нижними бьефами, такие расчёты то же следует считать приближёнными.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение результатов расчётов глубины затопления в разных створах нижнего бьефа низконапорных плотин каскадных гидроузлов Москвы, выполненных по различным методикам показал, что упрощённые методы, разработанные на кафедре гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА применительно к низконапорным плотинам в агроландшафтах, удовлетворительно согласуются с результатами расчета по методикам,

базирующимся на численных методах решения уравнения Сен-Венана, заложенных в программы «БОР», MIKE 11 и MIKE 21. Результаты расчета по методике ВНИИ ГОЧС заметно отличаются от рассмотренных методов. Для использования этой методики требуется её доработка, в особенности для урбанизированных территорий с интенсивной застройкой.

Основным параметром волны прорыва для низконапорных гидроузлов при расчёте ущербов от наводнений и определения зоны затопления обычно является максимальная глубина затопления нижнего бьефа. Поэтому представляется целесообразным для определения этого параметра при оперативном выполнении экспертных оценок в случае прорыва напорного фронта низконапорных гидроузлов при отсутствии в нижнем бьефе объектов возможных разрушений (промышленного и жилого фонда), сельскохозяйственных угодий, объектов, сбрасывающих опасные вещества в окружающую среду и пр. видов хозяйственных элементов, могущих привести к реальному ущербу, и отсутствие при этом подпора со стороны нижнего бьефа, применять зависимость В.И. Волкова, являющейся упрощённой аппроксимацией методики И.А. Секисовой и Г.М. Каганова.

Для низконапорных ГТС, имеющих свою специфику на урбанизированных территориях, эта методика должна быть оценена для всех расчётных случаев. Целесообразно для реальных высокозначимых водных объектов столицы провести расчёты и по другим методикам, базирующимся на численных методах решения уравнения Сен-Венана. Требуется более детальная оценка ошибок расчета по этой методике при наименьшем числе допущений, при этом в дальнейшем желательно сопоставить полученные результаты с данными экспериментальных исследований и натурных наблюдений.

В качестве необходимого элемента программы обеспечения безопасности ГТС Москвы нужна разработка полновесной системы постоянного мониторинга всех городских ГТС, не зависимо от формы их собственности. Считаем, что расчет по определению параметров возможной волны прорыва, зоны затопления и ущербов для ряда основных каскадных гидроузлов

мегаполиса, находящихся на вновь присоединённых или трансграничных с областью территориях, является обязательным и целесообразным, так как в зону катастрофического затопления могут попасть: жилой фонд, промышленные зоны, складские помещения, автодороги, ценные земельные угодья, лесные массивы, ООПТ и другие объекты, затопление которых может причинить ущерб третьим лицам. В отдельных случаях для столичного региона величина общего ущерба с учётом экологической составляющей и специфики развития мегаполиса может быть довольно значительной.

**К вопросу обеспечения технологических и эксплуатационных аспектов безопасности водопропускных сооружений на транспортных магистралях**

*О.Н. Черных, кандидат технических наук, профессор*

*ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА», г. Москва, Россия*

*В.И. Алтунин, кандидат технических наук*

*ФГБОУ ВО «МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (МАДИ ГТУ)  
г. Москва, Россия*

Рассматриваются основные проблемы, возникающие при проектировании, строительстве и оценке работы водопропускных сооружений из гофрированных металлических структур. Дан анализ отечественного и зарубежного опыта применения трубчатых гофросистем.

In this article are described main problems, detected during projecting, building and valuation of investigation of corrugated metal pipes. Are investigated foreign and Russian experiments held with CMP.

Для обеспечения бесперебойного и безопасного движения транспорта по автомагистралям, дорогам разной технической категории и железным дорогам с установленными скоростями главной задачей содержания дорожного полотна является обеспечение исправности состояния всех его элементов [1, 2]. Помимо комплекса основных инженерных сооружений, рассчитанных на длительные сроки службы (насыпи, выемки, нулевые места, полунасыпи-полувыемки, устройства для отведения поверхностных вод: лотки, кюветы канавы и пр., сооружения для перехвата и отведения грунтовых вод: дренажи, каптажные устройства, канавы и пр., укрепительные сооружения и т.д.), особо важное значение имеет в местах пересечения с искусственными водопропускными сооружениями исправное состояние последних, которое в значительной мере обеспечивается соответствием их конструкций действующим нагрузкам и режимам работы,

проведением качественного мониторинга, выполнением планово-предупредительных ремонтов. Работоспособное состояние комплекса металлические гофрированные водопропускные трубы (МГТ) - грунтовая обойма основано на непрерывном текущем содержании и периодическом проведении необходимых ремонтных работ. В этой связи становится важным как предупреждение появления неисправностей, своевременное их устранение, так и ликвидация причин, вызывающих появление неисправностей.

Для выявления опасных ситуаций необходима организация постоянного мониторинга за работой и состоянием, как МГТ, так и грунтовой обоймы в период строительства и эксплуатации, а также проведение, в зависимости от класса сооружений в соответствии с актуализированной редакцией СНиП 33-01-2003 [3]. Натурные наблюдения нужны для того, чтобы составить план дальнейших действий: производство локального ремонта, реконструкции или полной замены водопропускного сооружения.

Несмотря на довольно широкое и интенсивное применение водопропускных сооружений из металлических гофрированных элементов до сих пор практически отсутствуют современные данные, как по эксплуатации, так и по оценке технического состояния основных конструктивных элементов МГТ: защитного покрытия, входного и выходного оголовков, устройств нижнего бьефа [38, 44, 68, 69]. Не разработаны отечественные методика проведения натурных обследований МГТ и нормативные документы, позволяющие корректно оценить и прогнозировать состояние таких сооружений, степень их экологической и технической безопасности для окружающей территории. Актуальными становятся натурные исследования, на основании которых должна быть проведена комплексная оценка не только состояния, но и гидрологической и гидродинамической безопасности МГТ, поскольку риск аварий гидротехнических элементов их довольно велик (рис. 1).



Рис.1. Разрушение дорожного полотна в результате гидрологической аварии на водопропускном сооружении из МГК

Анализ зарубежных методик [1, 5,6], позволяет выделить две основные системные модели оценки водопропускных сооружений (США). *Общая оценка* – внешний осмотр водопропускных труб оценивается по 5-ти бальной системе. В результате оценки состояние объекта выделяют в одну из 3-х зон: критическое; хорошее и удовлетворительное состояние. Сооружения, попавшие в критическую зону, подвергаются полной оценке для незамедлительного принятия мер по дальнейшему ремонту и эксплуатации сооружения. *Полная оценка* – помимо внешнего осмотра, включает в себя также оценку технических характеристик сооружения, условий его безопасности, времени проведения предыдущего ремонта, осмотра концевых участков сооружения, установления его гидравлических характеристик.

Дополнительная система оценок, приближенная к условиям небольших дорожных трубчатых переходов проводится сразу после реконструкции и ремонта сооружения для того, чтобы сопоставить результаты предшествующего осмотра и мер, которые были приняты для устранения дефектов. По этой системе устанавливается 5-уровневое состояние сооружения: отличное; очень хорошее; хорошее; удовлетворительное и

неудовлетворительное. По данным американских ученых, главными факторами, оказывающими влияние на срок эксплуатации МГС, являются скорость потока, коррозия, рН-фактор и абразивное воздействие твердых частиц, движущихся с водным потоком.

Для адаптации указанных методик к российским условиям в 2010 г. сотрудниками МАДИ и МГУПриродообустройства были проведены натурные исследования 12-ти реконструированных участков автодорог в Московской области, на которых после капитального ремонта были уложены одно- (60%) или двухчочковые (40%) трубы из СМГС, и один объект в Москве, основные характеристики которых указаны на рис. 2.

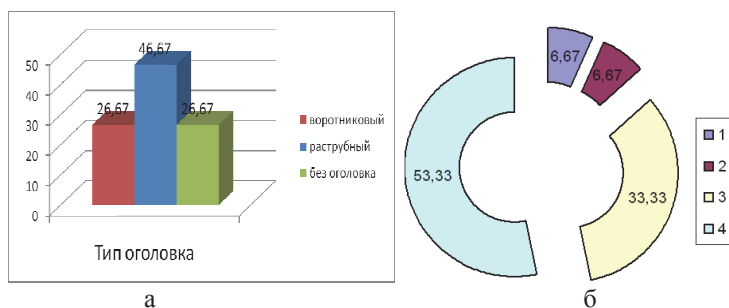


Рис. 2. Статистический анализ обследованных водопропускных объектов в % соотношении: а - по типу оголовка; б - по сроку эксплуатации: 1 – 4 года; 2 – 3 года; 3 – 2 года; 4 - не более 1 года

МГТ заменили на всех рассмотренных водопропускных объектах автодорожные железобетонные мосты либо пешеходные переходы. Лишь в одном случае гофрированной трубой была произведена реконструкция существующей железобетонной трубы методом гильзования. На отсыпанной поверхности грунтовых призм (дамб или плотин) по щебёночной подготовке толщиной 30 см были устроены покрытия проезжих автодорог (80,0%) либо пешеходных дорожек из тротуарной плитки на песчаной подготовке (20,0%). Все отремонтированные искусственные сооружения имели технические паспорта и большинство эксплуатировалось ДРСУ (11 сооружений).



Сопоставительный анализ обследованных МГТ показал, что водопропускные сооружения после реконструкции имеют сходные конструктивные решения [1, 5]. Поперечное сечение 30,8% обследованных водопропускных труб было круглым, а у 69,2% пониженным. Диаметр труб - от 1,5 м до 6,1 м при толщине стенок от 2,75 мм до 6 мм. Водопропускные сооружения на входе и выходе были обустроены раструбными (46,6 %) или воротниковыми оголовками (26,7 %), без оголовка были 26,7 %. Оголовки водопропускных труб и участки русла водотоков на входе и выходе были оформлены с использованием габионных конструкций (практически везде матрасами Рено высотой 0,3 м). Уклон, с которым были уложены трубы, изменялся в пределах 0,005...0,08. Максимальный расход воды в сооружениях составлял  $Q_{2\%} = 0,075...0,195 \text{ м}^3/\text{с}$ . Скорость течения водного потока на выходе была около 2,1...3,0 м/с.

В момент обследования все водопропускные трубы работали в безнапорном режиме по типу «коротких». Для защиты от коррозии все элементы в заводских условиях были покрыты горячей оцинковкой, с толщиной слоя не менее 85 мкм. Для предотвращения абразивного воздействия потока на дне труб устраивалась наброска из камня (69,2 %) или гладкий бетонный лоток (15,4 %), а 15,4 % труб не имели защитного покрытия. Металлическая труба из гофрированных структур на водопропускных сооружениях устанавливалась на подготовленное основание, чаще грунтовую подушку из песка толщиной до 1 м.

При натурном обследовании состояний водопропускных сооружений, помимо установления технических характеристик, особое внимание было уделено выявлению дефектов искусственных сооружений, образовавшихся за относительно небольшой период их эксплуатации. Результаты обследования водопропускных сооружений из МГС на наличие дефектов и по общей оценке состояния осмотренных водных объектов представлены на рис. 3. и 4.

### Основные дефекты обследованных водопропускных сооружений



Рис. 3. Результаты обследованных водопропускных сооружений с применением МГС

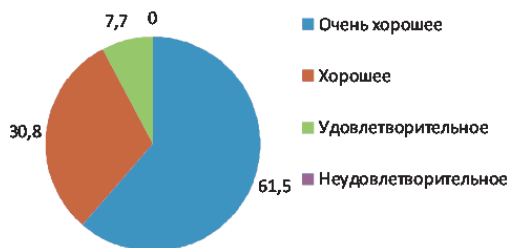


Рис. 4. Общая оценка состояния обследованных водопропускных сооружений из МГС по методике [2, 6]

Анализ выявленных дефектов позволил выделить и обобщить ряд основных, наиболее часто встречающихся дефектов водопропускных сооружений, которые можно использовать для распознавания и выявления типичных дефектов содержания МГТ и дорожного полотна в районе его влияния при визуальном обследовании ремонтными и эксплуатационными службами:

- разрушение откосов водопропускных сооружений, конусов и насыпи в районе МГТ, нарушение целостности укреплений поверхности откосов размыв, обрушение и сползание откоса насыпи (рис. 5). Допустимая площадь разрушения должна составлять не более 1,5...3 % для дорог соответственно от I до V категории;

- наличие просадок (понижение профиля покрытия, осадка земляного полотна) в местах сопряжения трубчатого перехода или моста с насыпью. Допустимая просадка от 0 до 5 см соответственно для дорог от I до V категории;

- повреждения насыпи, дамбы или грунтовой плотины при недостаточной длине водопропускной трубы;

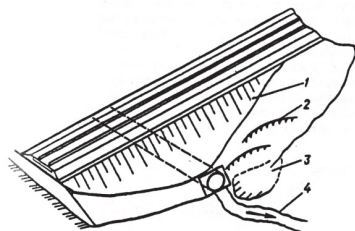


Рис. 5. Схема повреждения земляного дорожного полотна при недостаточной длине водопропускной трубы: 1 – балластный шлейф; 2 – трещины на откосе; 3 – сползшие массы грунта, стесняющие русло; 4 – урез воды в водотоке

- застои воды у оголовка водопропускных труб (скопление воды у входных и выходных оголовков труб, вызванное недостаточным уклоном трубы или отводящего русла, а так же их заиливанием или зарастанием). Застой не допустим на дорогах всех категорий, при всех уровнях содержания;

- локальные разрушения оголовков (нарушение целостности поверхности и выкрашивание материала оголовков, трещины). Допустимая площадь локальных разрушений не более 3...20% общей площади соответственно для дорог от I до V категории;

- дефекты габионных конструкций (оголовков труб, крепления оголовков, дна и откосов русел), часто подвергаемых актам вандализма;

- заиливание водопропускных труб (отложение илистых частиц в сечении и у оголовков). Допустимая величина заиливания от 0 до 0,1 диаметра трубы соответственно для дорог от I до V категории;

- размыв русел водотоков у оголовков водопропускных труб (образование промоин у оголовков вследствие вымывания грунта и материала укрепления

русел водотоков, из-за отсутствия выходных оголовков и устройств нижнего бьефа за МГТ). Размыв у оголовков МГТ не допустим на дорогах всех категорий, при всех уровнях содержания;

- наличие травы высотой более 15 см и древесно-кустарниковой растительности у оголовков водопропускных труб, препятствующих нормальному движению воды. Наличие такой растительности в русле у оголовков МГТ недопустимо на дорогах всех категорий, при всех уровнях содержания;

- наличие не заделанных швов между звеньями водопропускных труб (нарушение герметичности стыков). Не заделанные или разошедшиеся швы бетонных труб и МГТ недопустимы на дорогах всех категорий, при всех уровнях содержания;

- наличие снежно-ледяных отложений в теле трубы в период до начала весеннего паводка, препятствующие пропуску паводка. Допустимая величина снежно-ледяных отложений в теле трубы должна быть не более  $2/3$  диаметра МГТ не зависимо от категории дороги и уровня её содержания;

- внутренняя коррозия МГТ, нарушение обмазочной гидроизоляции и коррозия МГТ, ускоренная абразивным воздействием водного потока;

- деформация гофролиста на входе и выходе из МГТ;

- разрушения (провал) искусственного дорожного покрытия вследствие разрушения водопропускной трубы, некачественного выполнения обратной засыпки и уплотнения грунтовой обоймы либо фильтрационных деформаций вдоль гофротрубы из-за отсутствия геотекстиля;

- разрушения МГТ из-за некачественного выполнения противофильтрационных элементов и грунтовой обоймы;

- продольный прогиб трубы, имеющий наибольшее значение в зоне приложения временной нагрузки от насыпи, автотранспорта и подвижного состава, приводящий к деформациям выходного участка;

- овализация, в том числе и несимметричная, тела МГТ;

- местный разрыв и прогибы тела МГТ;

- отложения наносов, стесняющие живое сечение трубы;
- загрязнение русла водотока строительным и бытовым мусором, ветками деревьев и пр.;
- другие дефекты МГТ: неправильная сборка звеньев железнодорожной трубы, несоблюдение технологического цикла, разрушение грунта в пазухах многоочковых труб, завалы грунта перед оголовками и т.п.

Можно констатировать, что восстановленные дорожные ГТС не оказали заметного отрицательного влияния на экологическое состояние окружающей среды за прошедший после реконструкции период. Во время обследования не были обнаружены заболачивание пойм, эрозия почв, размывы и вынос растительного грунта, обрушения берегов, изменения уровня грунтовых вод, нарушения состояния растительного и травяного покрова на пойме в районе мостового перехода на всех ГТС. В тоже время на ряде объектов русла водотоков были загрязнены мусором, строительными материалами и ветками деревьев, вода в водосбросной трубе и на подходных участках на ряде объектов была покрыта густой ряской и в ней находились значительные иловые отложения, нижний бьеф зарос густой травой, а выходной оголовок был завален бытовым мусором, что говорит о недостаточной работе служб эксплуатации. По результатам выполненных обследований были составлены рекомендации для служб эксплуатации соответствующих водных объектов и участков автомобильных дорог.

В заключение следует отметить необходимость, целесообразность и своевременность разработки отечественных методик оценки безопасности водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур и выпуску специальной литературы по оценке их технического состояния и рекомендаций по устранению дефектов транспортных переходов из МГС через водотоки различного назначения, в том числе и нерестовые с учётом требования основных законов Российской Федерации в части охраны окружающей среды, охраны и использования водных биоресурсов.

**ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО КРЕПЛЕНИЯ - ГЕОРЕШЁТКИ  
С КРУПНОЗЕРНИСТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ДЛЯ ВОДОТОКОВ  
СО ЗНАЧИТЕЛЬНЫМ УКЛОНОМ**

*Гурьев А.П., д.т.н., профессор; Ханов Н.В., д.т.н., профессор;  
Баранов Е.В., аспирант.*

*ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА»,  
г. Москва, Россия*

Данная статья освещает исследования гидравлических сопротивлений защитного крепления гидротехнических сооружений, выполненного объёмными полимерными георешётками с крупнозернистым каменным заполнителем. Представлены результаты оценки коэффициента шероховатости «n» для данного материала и сделаны соответствующие рекомендации.

*The article highlights a research hydraulic resistance of protective attachment of hydraulic structures made of bulk polymer geogrids with a coarse stone aggregate. The results of the evaluation of the roughness coefficient "n" for this material and made appropriate recommendations.*

Проблема точного определения параметров гидравлического сопротивления для искусственно созданных водотоков с повышенной шероховатостью современной в современной гидравлике гидротехнических сооружений решается до настоящего времени. Создан обширный базис методов оценки сопротивлений на основе исследований различных авторов в этой области, при этом поиск универсального метода ведётся по настоящее время.

Величина сопротивления дна и откосов открытых водотоков напрямую влияет на кинематические параметры движущегося потока, определяемые расчётами при проектировании. Это позволяет выполнить подбор габаритов сооружения, уклонов, подобрать противоэрозионное крепление, если это необходимо. При этом учитываются пределы противоэрозионной стойкости крепления, что влияет на безаварийную эксплуатацию сооружения.

Принято считать, что основным показателем гидравлического сопротивления открытых равномерных, а также неравномерных плавноизменяющихся потоков является коэффициент Шези  $C$ , который связан коэффициентом линейного сопротивления  $\lambda$  простой зависимостью [1,2]:

$$\lambda = \frac{8g}{C^2} \quad (1)$$

При назначении коэффициента Шези используется допущение о равенстве работ сил сопротивления при неравномерном и эквивалентным ему равномерном потоке, имеющем аналогичные средние скорости движения и гидравлические радиусы [1,2,3]. В связи с чем становится возможным применение формулы Шези:

$$v_{cp} = C \cdot \sqrt{R_{cp} \cdot J} \quad (2)$$

где  $v_{cp}$  и  $R_{cp}$  – осреднённые средняя скорость и гидравлический радиус на рассматриваемом участке,

$J = h_{дл} / L_{уч}$  – гидравлический уклон, определяющий наклон линии полной

энергии  $E_{полн}$ . В случае равномерности потока гидравлический уклон равен уклону водотока:  $J = i_{уч}$ .

$h_{дл} = \Delta E_{полн}$  – потери полной энергии потока,

$L_{уч}$  – длина рассматриваемого участка водотока.

Выбором оптимального способа оценки коэффициента Шези  $C$  занимался ряд выдающихся исследователей. Представим зависимости нескольких рассматриваемых нами авторов [1,2,3]:

1. Согласно исследованиям Гангилье-Куттера (1869 г.):

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{J}}{1 + \left( 23 + \frac{0.00155}{J} \right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (3)$$

2. Согласно исследованиям Маннинга (1890 г.):

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (4)$$

3. Согласно исследованиям Форхгеймера (1923 г.):

$$C = \frac{R^{1/5}}{n} \quad (5)$$

4. Согласно исследованиям Н.Н. Павловского (1925 г.):

$$C = \frac{R^y}{n} \quad (6)$$

где  $y$  – степень, величина которой, согласно исследованиям и расчётам, определяется как:

$$y = 2.5 \cdot \sqrt{n} - 0.13 - 0.75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0.1) \quad (7)$$

5. Согласно исследованиям И.И. Агроскина (1949 г.):

$$C = 17.72 \cdot (K + \lg R) \quad (8)$$

где  $K$  – величина, определяемая как:

$$K = \frac{0,056}{n} \quad (9)$$

Во всех представленных формулах  $n$  – коэффициент шероховатости, определяющий физико-механические свойства материала крепления дна и откосов водотока. Первыми ввели данный коэффициент в расчётах Гангилье и Куттер. В справочной литературе, в частности [1], встречается ряд таблиц различных авторов, по которым выполняется подбор  $n$  в зависимости от материала, слагаемого поверхность водотока, что значительно упрощает выполнение гидравлических расчётов. Несмотря на это, при проектировании необходимо с осторожностью подходить к выбору коэффициента



шероховатости  $n$ , учитывая особенности применения тех или иных зависимостей, предложенных различными авторами.

Применение новых противэрозионных креплений дна и откосов водотоков вызывает сложности в грамотном подборе коэффициента  $n$ . Решением данной проблемы является проведение лабораторных гидравлических испытания таких материалов.

В последние годы применение полимерных георешёток, представляющих собой объёмную ячеистую конструкцию, заполняемую материалом, всё чаще встречается в сфере гидротехнического строительства. Нередки случаи укрепления георешётками дна и откосов искусственных водотоков, подтопляемых и неподтопляемых откосов различного назначения.

По результатам проведённого нами анализа всей имеющейся информации по использованию объёмной полимерной георешётки менее изученной группой являются неподтопляемые ливнеотводящие откосы, выполняющие функцию отвода поверхностных вод. Особое внимание таким сооружением должно уделяться при проектировании в районах со значительным уровнем выпадения осадков. Принцип работы ливнеотводящих (водоотводящих) откосов не отличается от особенностей работы быстротоков со значительным уклоном, а также низовых откосов переливных плотин.

Движение бурного потока по откосам, укреплённым георешёткой с каменным заполнителем, обусловлено сравнительно малыми глубинами, в некоторых случаях не превышающими крупность используемого материала, и высокими средними скоростями. При проектировании таких сооружений необходимо сравнить данные скорости с максимально допустимыми, которые в свою очередь определяются особенностями компонентов комплекса «георешётка+заполнитель».

Для выполнения лабораторных исследований была создана экспериментальная установка, представляющая собой участок водоотводящего откоса (рис.1.) в естественных геометрических условиях без масштабирования длиной и шириной 3,0 и 1,0 м соответственно. Заложение откоса  $m=1:2$

выбрано в результате опыта применения георешёток и анализа нормативной литературы, обобщающей в себе опыт проектирования и эксплуатации низовых откосов грунтовых плотин и дамб, водотоков, а также водоотводящих откосов, воспринимающих значительное воздействие поверхностных вод. Уклон водотока, соответствующий данному заложению,  $i = 0.446$ .

На откос устанавливалась наиболее распространённая модификация георешётки со сплошной лентой. Размеры ячеек (Рис.2.) исследуемой георешётки:  $h = 15,0$  см,  $a = 17,0$  см,  $b = 20,5$  см (по [4] такие размеры ячеек принимаются

пр

и укреплении сооружений поверхностного водоотвода с использованием крупнофракционного заполнителя).



Рис. 1. Вид на модель откоса, укрепленного объёмной георешёткой

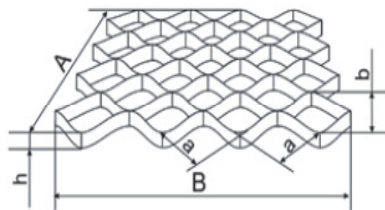


Рис. 2. Основные размеры объёмной полимерной георешётки

Основным исследуемым наполнителем являлся камень фракции 2,0-4,0 см, средний приведённый диаметр которого составил  $D_{50\%}=3,1$  см. Выступающие рёбра георешёток совместно с уложенными в ячейки камнями создавали равномерно-шероховатую поверхность.

Подаваемый насосной установкой расход определялся за счёт устройства мерного водослива круглого сечения над откосом. Исследования проводились при трёх контрольных расходах  $Q = 7,6; 9,16; 9,98$  л/с. Расчёт глубин потока выполнялся на основе замеров отметок верха камней и свободной поверхности потока в 4 мерных сечениях. Средняя замеренная отметка верха камней соответствовала отметке верха стенок георешёток. Как было отмечено несколькими исследователями [3], реальное положение гидравлического дна ниже фактически замеренного, т.к. часть транзитного расхода движется между камнями по порам в виде фильтрационной составляющей. Положение так называемого «гидравлического дна» привязывается к высоте активной части выступов зернистой шероховатости  $\Delta$ . Согласно некоторым исследованиям, при плотном расположении элементов положение гидравлического дна ниже верха камней на величину  $(0,2...0,25) \Delta$  [5]. Некоторые авторы отмечали [3], что неправильный выбор положения гидравлического дна в случае порожистых русел с относительно малыми глубинами может привести к ошибке в 60-80% при оценке их пропускной способности.

Скорости водного потока определялись с помощью гидрометрической микровертушки для расхода  $Q = 9,16$  л/с и трубки Пито для расходов  $Q = 7,6$  и  $9,98$  л/с. В связи с незначительными глубинами бурного потока ( $h_i \leq D_{50\%}$ ) можно было определить только величину средней скорости потока в каждом мерном створе. Коэффициенты Кориолисы оценивались по ширине каждого сечения. Заметим, что при оценке скорости потока с помощью трубки Пито ошибка замеров значительно превышала ошибку при использовании микровертушки. По нашей оценке, предельная относительная ошибка измерений с помощью трубки Пито составит 18,75%, а при применении микровертушки согласно информации компании-производителя 2,0%.

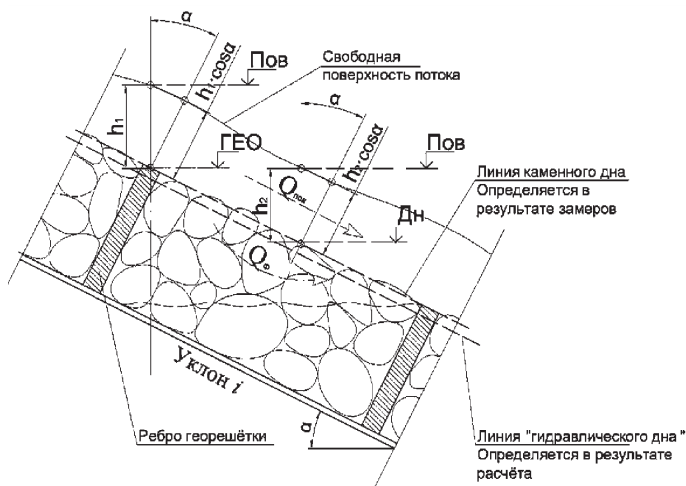


Рис. 3. Особенности замеров глубин потока при значительных уклонах водотока

В результате выполнения замеров скоростей потока можно было определить приведённые глубины потока, определяющие положение «гидравлического дна». Согласно выполненным расчётам, положение «гидравлического дна» ниже верха камней на величину  $\Delta h = 0.31$  см. Если принять за высоту активной части выступов зернистой шероховатости  $\Delta = 0,5 \cdot D$ , то в нашем случае  $\Delta h = 0,2 \cdot D$ .

Далее определялись гидравлические радиусы  $R$ , глубины  $h_i$  без учёта уклона канала, значения удельной и полной энергий потока в каждом сечении. За плоскость отсчёта «0-0» принята плоскость на отметке дна нижнего мерного сечения.

После определялись средние значения скоростей и гидравлических радиусов на расчётных участках  $v_{cp}, R_{cp}$ , оценивались потери полной энергии на каждом участке, высчитывался гидравлический уклон  $J$ . По представленной выше формуле 2 определялись значения коэффициентов Шези и рассчитывались значения коэффициента шероховатости  $n$  по формулам вышеуказанных исследователей. Результаты выполняемых замеров и последующих расчётов представлены в таблице 1.

В результате проведённых расчётов получено, что средний гидравлический уклон практически равен уклону водотока, в связи с чем движение потока по откосу можно принять как равномерное.

Таблица 1.

Результаты исследований коэффициента шероховатости водотока, укрепленного объёмной полимерной георешёткой с каменным заполнителем фракции 2,0-4,0 см ( $D_{50\%}=3,1$  см).

Характеристики потока	Ед. изм.	Q = 7,6 л/с	Q = 9,16 л/с	Q = 9,98 л/с	Среднее
Средняя глубина потока от верха камней с учётом уклона $h_{\text{факт}} = h_i \cdot \cos \alpha$	см	0,97	1,09	1,25	
Средняя замеренная скорость потока $v_{\text{ср}}$	см/с	59,5 Трубка Пито	65,7 Микро- вертушка	64,7 Трубка Пито	
Приведённая к расходу расчётная глубина потока $h_{\text{расч}}$	см	1,30	1,40	1,55	
$\Delta h$	см	0,33	0,31	0,3	0,31
Гидравлический радиус R	см	1,26	1,36	1,50	
Средний гидравлический уклон J	-	0,4452	0,4471	0,4485	0,447
Средний коэффициент Шези C	$m^{0,5}/c$	7,97	8,44	7,89	
Коэффициент шероховатости n					
По Агроскину И.И.		0.0238	0.0239	0.0247	<b>0,0241</b>
По Павловскому Н.Н.		0.0322	0.0316	0.0333	<b>0,0324</b>
По Гангилье-Кутгеру		0.0299	0.0293	0.0316	<b>0,0303</b>
По Маннингу		0.0610	0.0579	0.0630	<b>0,0607</b>
По Форхгеймеру		0.0528	0.0502	0.0548	<b>0,0526</b>

Был получен разброс значений коэффициента шероховатости n в зависимости от применяемой формулы. Связано это в первую очередь с тем,

что каждая формула применима в каком-то своём диапазоне. Наименьший разброс полученных расчётных значений коэффициентов шероховатости  $n$  в 2,36% даёт зависимость И.И. Агроскина при величине зоны разброса в 8,01%. При сравнении полученных результатов с табличными данными различных источников, в частности [1,3], было решено принять за рекомендуемую величину коэффициента шероховатости  $n=0.0324$ , рассчитанного по весьма распространённой методике Н.Н. Павловского, впредь до накопления более обширных экспериментальных и натуральных данных. Соответственно, используя формулу (6), можно с высокой точностью определить коэффициент Шези С. Любая другая зависимость также может быть использована для расчётов, но с соответствующим ей коэффициентом шероховатости  $n$ .

Затем дополнительно были проведены лабораторные исследования по определению коэффициентов шероховатости  $n$  при условии равномерности потока отдельно для нескольких фракций с целью определения возможного влияния средней крупности заполнителя. В результате использования фракций заполнителя 0,9-2,0; 2,0-2,4; 2,4-2,8; 2,8-3,0; 3,0-3,5; 3,5-4,0 см было получено, что коэффициенты шероховатости практически неизменны и приближённо соответствуют полученным ранее значениям. Поэтому представленные в таблице 1 значения коэффициентов шероховатости  $n$  при использовании фракции заполнителя 2,0-4,0 см являются корректными, что позволяет рекомендовать их для выполнения соответствующих гидравлических расчётов.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ЗАРЯДКИ СИФОНОВ ПРИ ПОЛИВАХ

*Н.А. Абдураманов, кандидат технических наук  
ТОО "Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства",  
г.Тараз, Казахстан*

Аннотация: В статье показываются новые способы зарядки и применение сифонов при поверхностных поливах.

Annotation : Publication shows new ways of charging and using siphons in surface irrigation.

Поливные сифоны часто применяют при заборе воды из лотковых оросителей для подачи ее в выводные борозды при поверхностных поливах сельскохозяйственных культур с целью улучшения равномерности увлажнения почвы по длине борозд.

Существующие способы зарядки сифонов маленько устарели, так обладают рядом недостатков, что сдерживает их широкое применение в оросительной практике [1].

Нами предлагается новый способ зарядки сифонов для забора воды из лотков и каналов оросительных систем путем заполнения их водой посредством нагнетательной груши, установленной в верхней части зарядного сифона [2].

Данный способ зарядки сифонов обладает рядом преимуществ, основными из которых являются механизация включения в работу и его мобильность (т.е. возможность его свободной транспортировки), в связи с чем, считаем, что он найдет свое применение в крестьянских и фермерских хозяйствах в целях мобильного забора воды из лотков и каналов.

Предлагаемый способ зарядки сифонов для забора воды из лотков и каналов (рисунок 1) представляет собой устройство, состоящее из рабочего сифона 1, установленного над лотком 2 или оросительным каналом, зарядного сифона 3, нагнетательной груши 4, представляющей собой резиновую полость с

двумя шлангами вмонтированными в нее на выходе с обратным клапаном 5, и камерой 6 устроенной снаружи, вначале выходного шланга 10 и входного шланга 11 нагнетательной груши, с установленным на ней обратным клапаном 12 и камерой 13, выпускного крана 7 (рабочего сифона), выпускного крана 8 (зарядного сифона), воздушного отверстия с пробкой 9.

Работа данного способа осуществляется следующим образом:

Перекрывается выпускной кран 7, открывается кран 8 и отверстие с помощью пробки 9. Далее вручную сжимается нагнетательная груша 4, которая при разжимании наполняется водой, поскольку обратный клапан 5 не позволяет захватывать воздух из зарядного сифона. Так как выход в нагнетательной груше расположен ниже входа, а на входном шланге помещен обратный клапан 12 с камерой 13, то вода из груши поступает в зарядный сифон. После заполнения рабочего сифона закрывается отверстие пробкой 9 и открывается выпускной кран 7. Сифон включается в работу.

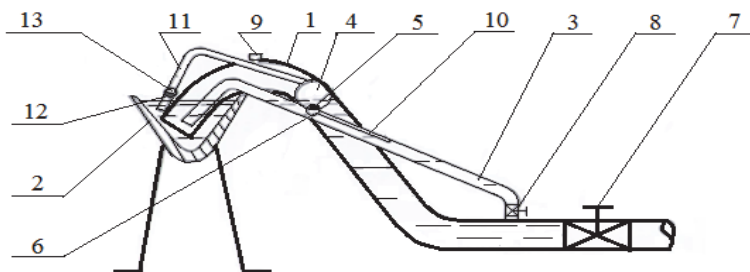


Рисунок 1 Способ зарядки поливного сифона для забора воды из лотков и каналов оросительных систем: 1 – рабочий сифон; 2 – лоток; 3 – зарядный сифон; 4 – нагнетательная груша; 5 – обратный клапан; 6 – камера; 7 – выпускной кран рабочего сифона; 8 – выпускной кран зарядного сифона; 9 – пробка воздушного отверстия; 10 – выходной шланг; 11 – входной шланг нагнетательной груши; 12 – обратный клапан; 13 – камера выпускного крана.

Более усовершенствованным является поливной сифон, предложенный нами на рисунке 2 [3].



Поливной сифон, отличается тем, что вакуум в выходной части сифона создается струйным насосом, работающим под напором воды в лотке.

Сифон работает следующим образом.

Сливную трубу 1, установленную над лотком 7, заполняют водой. Для этого, закрыв предварительно задвижку 8 открывают пробку 9 воздушного отверстия и вентиль 5. По закону сообщающихся сосудов жидкость поднимется до уровня воды в лотке 7, после чего закрывают пробку 4, а задвижку 8 открывают - сифон начнет функционировать.

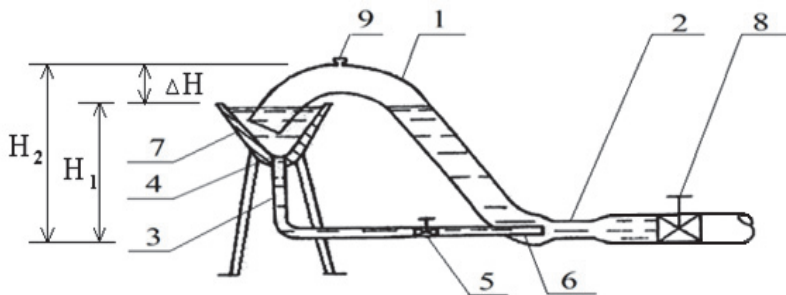


Рисунок 2 Поливной сифон в работе: 1 – сливная труба; 2 – струйный насос; 3 – изогнутая труба; 4 – нижняя отметка дна канала; 5 – вентиль; 6 – рабочее сопло; 7 – лоток; 8 – задвижка; 9 – пробка.

Под действием гидростатического давления воды при помощи рабочего сопла 6, в горловине камеры смешения создается вакуумное поле, которое увеличивает расход всасывающей среды сливной трубы 1.

Сифон заработает в том случае, как только глубина вакуума в сливной трубе 1  $h_{\text{вак}}$  станет больше высоты верхней точки сифона над свободной поверхностью воды в лотке  $\Delta H$ , т.е.  $h_{\text{вак}} = H_1 - H_2 = \Delta H$

## КОНСТРУКЦИИ ЭРЛИФТНЫХ РЫБООТВОДОВ

*Т.Л. Ляпова, кандидат технических наук, доцент*

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова  
ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет»  
г. Новочеркасск, Россия

*Предложены конструкция эрлифтного рыбоотвода с коэффициентом погружения равным или близким к единице и схемы многоступенчатых эрлифтных рыбоотводов. Рыбоотвод предназначен для применения в рыбозащитных устройствах типа наплавная рыбоотводящая запань.*

*Are offered a design airlift fish hoist with immersing factor equal or close to unit and schemes multistage airlift fish hoists. Fish hoist it is intended for application in fish protection devices type floating fish hoist boom.*

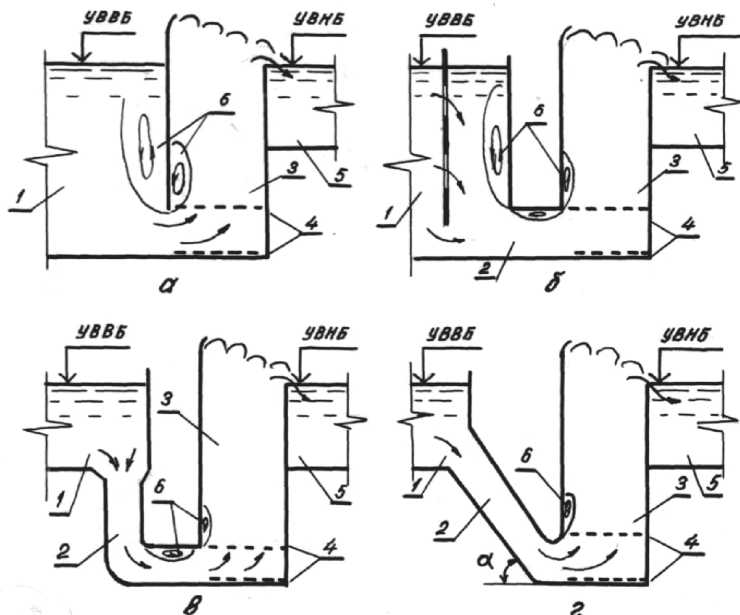
Изъятие огромного количества воды для нужд коммунального и сельского хозяйства, промышленности и энергетики оказывает существенное влияние на сокращение рыбных запасов естественных водоисточников. Особенно актуальна эта проблема для водных объектов юга России, богатых уникальными запасами ценных промысловых рыб. Так по данным АзНИИРХа наличие водозаборных сооружений на реке Дон с низкой эффективностью рыбозащиты приводит к гибели более 5 млрд. шт. молоди рыб ежегодно.

В настоящее, время разработано большое количество различных конструкций рыбозащитных устройств, однако, многие из них работают неудовлетворительно. Это в первую очередь относится к водозаборам производительностью более 15,0 м<sup>3</sup>/с. Для рыбозащитных устройств крупных водозаборов наиболее сложной является проблема отвода защищенных рыб за пределы зоны влияния, которая осложняется при скоростях потока в водозаборном створе значительно выше сносящих. В этом случае для отведения защищенных рыб используется принудительный рыбоотвод. Конструкции принудительного отвода защищаемых рыб, должны обеспечивать жизнеспособность рыб на всех этапах их перемещения, при высокой технической надежности.

Предъявляемым требованиям отведения молоди рыб более всего соответствуют эрлифтные насосы, не имеющие движущихся механических деталей, травмирующих рыб. Одним из условий применения эрлифтов для принудительного отведения защищаемых рыб в РЗС является недопущение значительных местных потерь в системе рыбоотводящего тракта и самом подъемнике. Исследования Л.М. Краснопеевой, Г.С. Муравенко, В.Е. Синеока [1], показали, что местные потери напора в присоединительных трубопроводах, обусловленные влиянием элементов трубопроводной арматуры и фасонных частей (колен, конфузорно-диффузорного перехода) не должны превышать 2м. Превышение указанной величины местных потерь вызывает резкие перепады давления и способствует травматизму защищенной молоди рыб. Необходимо избегать и значительной протяженности присоединительных трубопроводов. В закрытых трубопроводах опасность представляет закупоривание их плавающим мусором, водорослями, следовательно, сама конструкция перекачивающего устройства в сочетании с присоединительными линиями должна быть компактной, с минимальным числом поворотных участков.

В зависимости от конструкции рыбоотводящего лотка, бассейна-рыбосборника, гидравлических параметров водного потока и гидрологических условий водоисточника предложены несколько схем сопряжения эрлифтного подъемника и РЗУ, которые представлены на рисунке 1. Как видно из рисунка 1 основной целью конструктивного совершенствования устройства является уменьшение числа мест вероятного формирования вихревых зон и их размеров. Водоворотные области с одной стороны увеличивают потери и, следовательно, снижают производительность, а с другой отрицательно сказываются на условиях транспортировки рыб, так как любая вихревая зона является местом концентрации и гибели молоди рыб. Первые две схемы (рисунки 1 а, б) могут использоваться при глубине в рыбоотводящем тракте достаточной для обеспечения требуемой производительности эрлифта (достаточном коэффициенте погружения). Однако наличие большого количества вихревых

зон требует совершенствования конструкций в соответствии с условиями применения, которые в настоящей работе не рассматриваются.



1 – лоток-рыбоприемник; 2 – подводящая линия; 3 – подъемная линия;  
4 – форсунка; 5 – отводящая линия; 6 – вихревая зона

Рисунок 1 - Конструктивные схемы сопряжения эрлифтного подъемника с рыбоотводящим трактом РЗУ: а – диафрагмой; б – башней с различной глубиной отбора; в – вертикальной шахтой; г – наклонной шахтой;

Использование шахтной схемы сопряжения (рисунки 1 в, г) позволяет расширить возможности использования эрлифтного подъемника в качестве рыбоотвода. Она обеспечивает максимально возможное заглубление форсунки под уровень воды и увеличение высоты подъемной шахты.

**Вместе с тем необходимость оптимизации отдельных элементов конструкции диктуется следующими обстоятельствами.**

Во-первых, при применении эрлифта с коэффициентом погружения равным или близким к единице, в целях минимизации потерь, необходима

тщательная конструкторская отработка всех водопроводящих элементов – горизонтальных, наклонных и коленных участков, их протяженности и расстояния между ними, форм поперечного сечения проводящих элементов и очертаний переходных участков.

Во-вторых, в целях достижения расчетной производительности эрлифта, обеспечения высокой выживаемости молоди рыб и создания благоприятной структуры водо-воздушного потока, необходимо рациональное компоновочно-конструктивное решение по распределительной форсунке и оптимизация ее параметров.

В-третьих, принимая в качестве основного критерия оценки эрлифтного рыбоподъемника выживаемость молоди рыб, которая зависит не только от конструкции отдельных элементов устройства, но и связанного этим гидравлического режима, необходимы оценка и выбор оптимальных скоростных характеристик потока и распределения скоростей по сечениям.

И, наконец, конструкция эрлифтного рыбоотвода зависит от типа и компоновки рыбозащитного сооружения, в состав которого она входит.

В зависимости от гидрологических и высотных условий в местах установки РЗС по условиям гидротранспорта защищенной молоди рыб от рыбосборной части до водоема-рыбоприемника возможно применение одно- и многоступенчатых эрлифтных рыбоотводов.

Одноступенчатые эрлифтные рыбоотводы могут иметь коэффициент погружения форсунки равным единице ( $K = 1,0$ ) или менее ( $K < 1,0$ ), т.е. подразделяются на одноуровневые и разноуровневые.

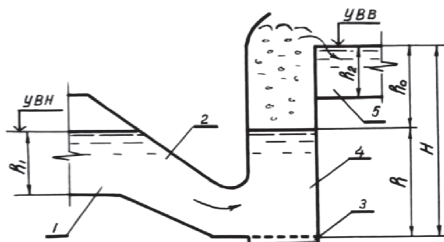
Одноуровневые рыбоотводы характеризуются практически неизменными уровнями воды рыбосборной части водоема-рыбоприемника. Такой рыбоотвод можно использовать с РЗУ типа наплавной рыбоотводящей запани, разработанной в НГМА [2].

Разноуровневые одноступенчатые эрлифтные рыбоотводы характеризуются неодинаковыми уровнями воды рыбосборной части и водоема рыбоприемника. Оба варианта должны проектироваться с учетом допустимых

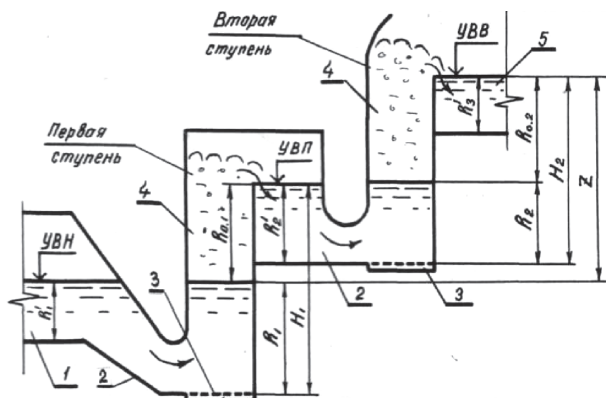
пределов относительных падений давлений  $1 > P_{кон.} / P_{нач.} \geq 0,4$  [1], а также допустимой скорости изменения этих давлений.

Многоступенчатые рыбоотводы на базе эрлифта могут быть применены при несоблюдении указанных условий. Схемы одно- и многоступенчатых эрлифтных рыбоотводов приведены на рисунке 2.

а)



б)



1 - рыбоотводящий лоток; 2 - подводящая линия;

3 - распределительная форсунка; 4- подъемная шахта; 5 - подводящий лоток

Рисунок 2 - Схемы одно- и многоступенчатых эрлифтных рыбоотводов

с  $K < 1,0$ : а – одноступенчатый; б – двухступенчатый.

Исследованиями установлено, что подача воды эрлифтом существенно возрастает с увеличением площади поперечного сечения подъемной шахты, глубины погружения газораспределительного устройства и расхода

подаваемого воздуха. Однако глубина погружения форсунки в эрлифтных рыбоотводах зависит от глубины водоисточника в месте установки и не может быть принята более. Принято считать, что отношение глубины погружения

форсунки к высоте подъемной шахты есть коэффициент погружения ( $k = \frac{h}{H}$ ).

По данным Л.В. Пороло наибольшая производительность эрлифтного подъемника достигается в условиях, когда коэффициент погружения находится в пределах 0,50 – 0,75, а максимальная производительность – при коэффициенте погружения равном 0,667.

Из изложенного следует, что при известной глубине погружения форсунки ( $h$ ) высоту подъемной шахты можно определить из выражения

$$H = \frac{h}{K}. \quad (1)$$

Если при вычисленной высоте подъемной шахты обеспечивается соблюдение необходимых пределов падений давлений в ней согласно вышеуказанных условий, то она принимается за расчетную.

В случае невыполнения упомянутых условий высота подъемной шахты определяется допустимой областью падения относительных давлений, а глубина погружения находится из выражения (1).

Число ступеней эрлифтного рыбоотвода определится делением величины перепада уровней воды ( $Z$ ) в рыбосборном бассейне и водоеме-рыбоприемнике на высоту шахты

$$N_c = \frac{\downarrow УВРБ - \downarrow УВВРП}{H} = \frac{Z}{H}.$$

Для нахождения основных параметров эрлифта можно использовать метод расчета, разработанный В.Л. Пороло [4], как наиболее универсальный, а также метод расчета эрлифтных установок с коэффициентом подъема равным единице, предложенный Т.Л. Ляпотой [5].

На основании изучения гидравлико-биологических условий работы рыбоотводов принудительного типа, оценки отрицательных воздействий на

транспортирование молоди рыб в трактах рыбоотводов и анализа мер по повышению выживаемости рыб при их отводе от РЗУ предложены конструкция эрлифтного рыбоотвода с коэффициентом погружения равным или близким к единице и схемы многоступенчатых эрлифтных рыбоотводов. Рыбоотвод предназначен для применения в РЗУ типа наплавная рыбоотводящая запань.



## **НОВЫЕ МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАСОСНОГО АГРЕГАТА СИСТЕМЫ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА**

*Р.Р. Эргашев, Т.Ш. Мажидов, кандидаты технических наук, доценты,  
О.Я. Гловацкий, доктор технических наук, профессор,  
А.И. Азимов, Ф.А. Бекчанов, научные сотрудники  
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ И МЕЛИОРАЦИИ (ТИИМ)  
г.Ташкент, Узбекистан*

В статье рассматриваются результаты испытаний основных параметров и характеристик оборудования системы машинного водоподъема, использующих установки для диагностики насосов с целью повышения точности.

In article are considered results of the main parameter and feature test of the equipping the system machine ascent of water, using installation for diagnostics pump for the reason increasing of accuracy.

Техническое состояние насосных агрегатов (НА) определяется сравнением фактических параметров (напором  $H$ , подачей, потребляемой активной мощностью) с расчетным, а также физическим состоянием агрегатов, которые определяются при профилактических мероприятиях и диагностике НА. В ТИИМ на основе действующих ГОСТов разработана методика определений отклонения основных параметров НА при отсутствии штатных приборов КиП (в основном расходомеров), по которой определяется КПД насоса и НА.

Критериями оценки технического состояния осевых насосов являются предельные отклонения по напору и КПД от паспортного значения. При падении напора свыше 7% и КПД более 3% техническое состояние насоса считается неудовлетворительным и дальнейшая его эксплуатация запрещается.

Эксплуатация центробежного насоса прекращается при снижении напора более 2% и КПД более 3%.

При определительных испытаниях на надежность должны уточняться показатели надежности, сроки и объемы ремонтов, определяется потребность в запасных частях, с целью внесения этих данных в техническую документацию. Испытания на надежность являются наиболее длительным, так как они

определяют наработку на отказ, обычно равную 4000-8000 ч., и наработку до капитального ремонта (20-30 тыс.ч.). Для этой цели выбирают подконтрольные станции, где за работой насосов ведутся систематические наблюдения:

- Генеральные, в которые входит определение КПД и основных параметров и характеристик оборудования для выявления его качеств и свойств, и получения возможности более эффективного использования.

- Эксплуатационные, проводимые на основе результатов генеральных испытаний в период эксплуатации, для расширения полученных характеристик, для других условий работы агрегатов и выявления износа механизмов и состояния их после ревизии.

- Исследовательские испытания, носящие индивидуальный характер, направленные для дальнейшего повышения эффективности и безопасности эксплуатации НА.

Авторами была создана модель «Установки для диагностики насосов» [1].

Задача, на решение которой направлена полезная модель, заключается в повышении точности диагностирования. Устройство включает дифференцирующий блок и блок сравнения, которые снабжены электронным счетным устройством, установленным на всасывающей и напорной линиях насоса. Это является абсолютно точным средством определения расходных параметров насоса, так как на применение индукционных, ультразвуковых современных расходомеров накладываются значительные ограничения по абразивным примесям, температуре и другим характеристикам измеряемой жидкости в реальных условиях эксплуатации насосов. Применение электронного счетного устройства позволяет снизить погрешность измерения и повысить оперативность изменения режима.

Исполнителями разработан программный модуль и программа динамического контроля КПД крупных НА [2]. Эксплуатационные допустимые отклонения параметров (эксплуатационные допуски) не учитывают погрешностей измерений. Браковочные эксплуатационные отклонения параметров представляют собой сумму эксплуатационного допустимого отклонения и предельно допустимого среднеквадратического отклонения средств измерений. Без указания

эксплуатационных допусков нельзя задать и определить показатели долговечности, поскольку ресурс насоса становится неопределенным понятием.

Эксплуатационные допуски для любого динамического насоса должны устанавливаться на напор при номинальной подаче, максимальный КПД и на внешнюю утечку, а для некоторых насосов, кроме того, на вибрацию, время самовсасывания, сопротивление изоляции обмоток электродвигателя, люфт ротора, величину износа и др.

Трудности измерения параметров в условиях эксплуатации не являются основанием к тому, чтобы не устанавливать эксплуатационные допуски, так как потребитель без указания этих допусков не сможет правильно оценить эффективность работы насоса в системе.

Для обоснованного нахождения эксплуатационного допуска необходимо рассмотреть совместную работу насоса и системы. Общее выражение для относительного эксплуатационного допустимого отклонения напора (в %):

$$\Delta_{E_3} = \frac{E_H - g h_0 - \xi_c g \left[ \left( 1 - \frac{\Delta Q_3}{100} \right) Q_H \right]^2 + \frac{\Delta Q_3}{100} Q_H \frac{dE}{dQ}}{E_H} \times$$

$$\times 100\% = \frac{\Delta Q_3 Q_H \left( 2 \xi_c g Q_H - \frac{dE}{dQ} \right)}{E_H},$$

где  $E_H$  и  $Q_H$  – номинальные напор в м и подача в м<sup>3</sup>/с;  $h_0$  – гидростатическая составляющая сопротивления системы, м;  $\xi_c$  – коэффициент полного гидравлического сопротивления системы,  $\Delta Q_3$  – относительное допустимое снижение подачи насоса при эксплуатации, %.

$$\frac{dE}{dQ} = \frac{m_E}{m_Q} \operatorname{tg} \beta,$$

где  $m_E$  и  $m_Q$  – масштабы напора в м/см и подачи в м<sup>3</sup>/с·см;  $\beta$  – угол между касательной к напорной характеристике (в данной точке) и осью абсцисс.

При одинаковом допустимом падении подачи больший эксплуатационный допуск на напор будет у насосов, работающих в системах,

где  $h_0=0$ , а меньший – в системах с малым гидравлическим сопротивлением. С другой стороны, большее допустимое отклонение напора могут иметь насосы с более «крутой» напорной характеристикой: осевые, вихревые.

Авторы предлагают посредством оценки показателей надежности указать «порог» безопасности эксплуатации НА, за пределами которого не гарантирована его безотказность. С 2012г. в ТИИМ проводится сбор информации о техническом состоянии НА по наиболее характерным типам насосов машинного орошения Аму-Бухарского (АБМК), Аму-Каракульского, Каршинского каскадов, также насосных станций, питаемых из оросительных каналов в Голодной степи, Ферганской долине и т.д.

На основании обследований были определены предварительные объемы автоматизации технологических процессов на действующих насосных станциях. По проектам реконструкции I и II очередей АБМК для измерения уровней воды в верхнем и нижнем бьефах насосных станций предусмотрена установка дистанционных указателей.

Контролируется давление создаваемое насосами технического водоснабжения и давление в магистральном трубопроводе с помощью электроконтактных манометров. Эти измерения не дают уверенности в нормальной смазке водой подшипников и как показывают испытания систем водоснабжения не исключена возможность попадания мутной перекачиваемой воды в подшипники.

В результате обработки данных авторы получили характеристики вероятности безотказной работы осевых насосов типоразмера ОПВ 11-193Э и ОПВ 10 185Э (Куюмазарская на АБМК) и ОПВ 11-260 (Каршинский каскад). Их сравнение показывает, что на всех осевых насосах самая низкая надежность у нижнего направляющего подшипника.

Совпадение кривых вероятности безотказной работы верхнего и нижнего подшипников не отражает действительной картины надежности, так как верхний подшипник, менее нагруженный, долговечнее, чем нижний. Статистические же данные сроков службы практически совпадают, так как при

ремонтах оба подшипника чаще всего заменяются одновременно. Сроки службы нижних подшипников с лигнофолиевыми вкладышами большинства насосов достигают 1500 ч., с резиновыми несколько больше. Однако и эти данные несколько завышены, так как вкладыши заменяются, когда торцы лопастей рабочего колеса трутся об его камеру. Это приводит к износу торцов лопастей, увеличению щелевых потерь и уменьшению КПД.

Отказы рабочих колес осевых насосов обусловлены износом торцевой части лопастей при трении о поверхность камеры и недопустимо больших износах вкладыша нижнего направляющего подшипников. Внезапные отказы рабочих колес наблюдаются при отрыве болтов, соединяющих перо лопасти с цапфой (насосы ОП11-260, ОП10-260). Такие отказы - случайные, и выявить их закономерность не всегда возможно. Характерным отказом рабочих колес осевых насосов в условиях Центральной Азии является выход из строя лопастей рабочего колеса вследствие абразивного износа их поверхностей. Работоспособность рабочих колес нарушается также из-за отрыва нижнего обтекателя (слабая затяжка болтов крепления), кавитационного износа. Совокупность указанных отказов дает относительно низкое распределение вероятности безотказной работы рабочего колеса за время эксплуатации.

Контроль действия защитных устройств – еще один вид специальных испытаний, при которых параметры насоса постепенно доводят до предельных значений. В случае крупных одноступенчатых насосов контрольные испытания могут быть заменены контролем размеров и форм рабочих органов-параметров, которые оказывают влияние на эксплуатационные показатели насоса. У некоторых насосов, преимущественно крупных, причиной выхода из строя может стать деформация корпуса. Например, при работе крупного осевого насоса вследствие гидростатического давления может иметь место деформация корпуса и смещение верхнего подшипника, что приводит к появлению радиальной силы на верхнем и нижнем подшипниках и ускоренному износу вкладышей подшипников и шеек вала.

Гидростатическое давление может также вызвать расцентровку насосов.

Анализируя спектограмму вибрации, можно составить достаточно полное представление о процессах, происходящих в насосе, поэтому вибрацию при испытаниях целесообразно измерять и анализировать всегда. С помощью измерения вибрации можно установить границы применения насоса по параметрам: подаче, давлению на входе, углу разворота лопастей. Повышенная вибрация на основной частоте, на частотах, кратных 2-4 основной, а также  $z$  основной ( $z$ - число элементов узла по окружности: пальцев муфты, полюсов электродвигателя, лопаток и т.д.), может свидетельствовать о:

- Неуравновешенности ротора, гидравлическом небалансе, неравномерности потока;
- Изломе линии вала (в насосах с составным валом или с удлинителем), плохой центровке муфты;
- Неравномерности воздушного зазора, коротком замыкании или обрыве обмоток электродвигателя;

Неудачная форма проточной части, приводящая к отрывному обтеканию и вихреобразованию, вызывает вибрацию на частотах примерно 200-2000 Гц, а кавитационные явления – на более высоких частотах.

В зависимости от требований эксплуатации насоса возможны особые условия его работы, при которых происходит ускоренное изнашивание элементов, или условия, которые представляют опасность для насоса или системы. При проверке работоспособности может оказаться необходимым, например, выяснить поведение насоса и его элементов при пусках всухую, при обратном направлении вращения, в турбинном режиме, при длительной работе на закрытую задвижку, в условиях вибрации, при угонной скорости вращения, открытом клапане срыва вакуума, изменении характеристики системы, устойчивости совместной работы насоса и системы, динамическом повышении давления (гидравлическом ударе) и т.п.

### **Выводы:**

1. Наиболее рациональным видом динамических испытаний является подконтрольная эксплуатация, систематическое наблюдение за изменением

параметров и износа элементов нормально - эксплуатируемого насоса, своевременное восстановление работоспособности фиксация всех действий, производимых насосом.

2. При подконтрольной эксплуатации нет необходимости точно измерять абсолютные значения параметров, необходимо с высокой точностью фиксировать их изменение по времени.

3. Для многих типов насоса, (например, крупных) причиной отказа может быть снижение КПД до предельно допустимого эксплуатационного значения, которое должно быть указано в технической документации для оптимальной подачи.

4. При периодическом контроле может оказаться очевидным, что насос может не «доработать» до следующего планового срока контроля из-за состояния элементов: износа, деформации, неисправности, биений и т.д. В этом случае фиксируется отказ насоса, независимо от внешних показателей.

## **УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

***О.Я. Гловацкий, доктор технических наук, профессор, Р.Р. Эргашев  
кандидат технических наук, доцент, Ш.Р.Рустамов, Н.Р.Насырова  
докторанты***

***НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ  
И ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ ИРРИГАЦИИ  
И МЕЛИОРАЦИИ (НИИИВП)  
г.Ташкент, Узбекистан***

В статье рассматривается часть вопросов управления надёжности насосных станций при вероятностном процессе повреждения основного оборудования и сооружений.

Part of questions of management reliability pumping station is considered in article at random processes of the damage of the main equipment and buildings.

В связи с истощением ресурса оборудования насосных станций (НС) Республики Узбекистан до 50...85% проблема управления надёжностью становится чрезвычайно актуальной. В НИИИВП в 2011-15 гг. проводятся работы по указанной проблеме [1,2].

В соответствии с Законом Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений» (статья 6) НИИИВП проводит экспертизу надёжности технического состояния и безопасности работы ГТС и НС.

Основными задачами проверки являются:

1. Установление факторов, определяющих риск опасности НС;
2. Выявление отклонений от проектных решений, повреждений, дефектов конструкций сооружений, которые могут стать причиной аварий.

Износ элементов проточных трактов насосных агрегатов (НА) в процессе эксплуатации вследствие кавитации и истирания взвешенными наносами приводит к ухудшению режимов работы. Ремонтные работы по устранению последствий износа деталей проточной части требуют значительных затрат труда и материалов [1].



Система диагностирования насосов позволяет увеличить эксплуатационную надежность, в том числе путем предотвращения монтажа дефектных деталей, уточнения объемов предстоящих ремонтных работ для восстановления работоспособности агрегатов.

Для оценки надежности объектов выполняют следующее:

- проводят анализ возможных отказовых ситуаций. При отсутствии соответствующих данных используют информацию по отказовым ситуациям аналогичных объектов;

- строят модели отказов по вероятной оценке появления конкретных отказовых ситуаций. Проводят схематизацию системы и внешних воздействий;

- выбирают наиболее рациональные количественные признаки на основе моделей отказов. Выбирают показатели качества и области допустимых состояний с точки зрения качества. Выбор осуществляется на основе технико-экономических соображений с учетом технологических, эксплуатационных и других требований;

- устанавливают расчетом средние значения по данным аналогичных объектов, средние квадратические отклонения и корреляционные моменты предельных и действующих значений количественных признаков;

- устанавливают количественные показатели надежности элементов (объектов) методами, изложенными в [1,2]. Функция надежности определяется как результат учета ряда факторов: внешней среды, технологических свойств систем, эксплуатационных требований и т.д.;

- сравнивают полученные показатели надежности объектов с требуемыми по техническим условиям показателями надежности.

$$P_{расч} \geq P_{тр}, \quad (1)$$

где  $P_{расч}$  — расчетное значение нижней границы оценки вероятности безотказной работы;  $P_{тр}$  — требуемое значение вероятности.

Когда условие (1) не выполняется, требование по надежности считается невыполненным и необходимо провести доработку, которая обеспечит выполнение соотношения.

При оценке параметрической надежности условие надежности записывается следующим образом:

$$П \geq B, \quad (2)$$

где  $П$  — потенциальная способность конструкции противостоять внешним воздействиям;  $B$  — внешнее воздействие.

Неравенство (2) может выражать условие надежности объекта по любому предельному состоянию (устойчивость, несущая способность, деформативность и т.д.).  $B$  может выражать как внешние воздействия, так и возникающие от них деформации. В общем случае все расчеты объекта, обеспечивающие его надежную работу, могут быть сведены к равенству

$$Y_1 - Y_2 \geq 0,$$

где  $Y_1$  - сумма внутренних факторов, характеризующая предел допустимой деформации;  $Y_2$  - сумма внешних факторов, характеризующая действующие нагрузки при их наиболее невыгодном сочетании. Тогда надежность объекта определится вероятностью значений больше нуля

$$P = P(v \geq 0).$$

Поток отказов сопрягающих сооружений НС в общем виде можно определить многопараметрической функцией, которая имеет такой вид:

$$\omega(\tau) = f[\omega_c(\tau), \omega_{ps}(\tau), \omega_{ки}(\tau), \omega_{zc}(\tau), \omega_{кл}(\tau), \omega_s(\tau), \omega_n(\tau)],$$

где  $\omega_c(\tau)$  - обобщенный параметр гидравлических условий;  $\omega_{ps}(\tau)$  - условий размыва или заиления;  $\omega_{ки}(\tau)$  - конструктивной надежности;  $\omega_{zc}(\tau)$  - геологических и геотехнических условий канала;  $\omega_{кл}(\tau)$  - климатических условий;  $\omega_s(\tau)$  - условий эксплуатации;  $\omega_n(\tau)$  - неучтенных приведенным перечнем факторов.

Каждый обобщенный параметр может быть расчленен на отдельные параметры. Так, обобщенный параметр конструктивной надежности НС может быть представлен как функция отдельных параметров.

$$\omega_{ки}(\tau) = f[\omega_{рас}(\tau), \omega_{сх}(\tau), \omega_{мех}(\tau)],$$

где  $\omega_{\text{рас}}(\tau)$  - параметр совершенства приемов расчета;  $\omega_{\text{сх}}(\tau)$  - параметр совершенства схемы НС;  $\omega_{\text{тех}}(\tau)$  - параметр совершенства технологии.

При оценке надежности работы НС, когда она работает с перерывами, можно использовать формулу для расчета готовности объекта

$$K_c = \frac{T_{\text{б.о.}}}{T_{\text{б.о.}} + T_{\text{в}}},$$

где  $T_{\text{б.о.}}$  - среднее время безотказной работы;  $T_{\text{в}}$  - время восстановления НС (или другого элемента).

В общем виде работоспособность НС можно охарактеризовать одним общим определяющим параметром (например  $I$ ). Область безотказных состояний объекта определяется условием  $I_{\text{д}} < I_{\text{пр}}$ , область отказов -  $I_{\text{д}} > I_{\text{пр}}$ . Условие вероятности безотказности при этом можно представить как:

$$\text{Вер}\{I_{\text{пр}} - I_{\text{д}} = u > 0\},$$

где  $I_{\text{пр}}$  - предельное значение определяющего параметра, при котором наступает отказ;  $I_{\text{д}}$  - действующее при обычной эксплуатации значение параметра, при котором объект функционирует безотказно.

В 2011-14 гг. сотрудники лаборатории НСиЭ провели комплексное обследование НС: головных крупнейших в СНГ НС Каршинского КМК и Аму-Бухарского АБМК по оценке технического состояния и определения факторов надежности и безопасности эксплуатации НС. При этом особое значение приобретают установление безопасных режимов переходных процессов в каналах и трубопроводах НС, оценка влияния наносов и плавника, содержащихся в перекачиваемой воде на работоспособность оборудования станций, разработка эффективных средств борьбы с плавающим мусором.

Полученные количественные зависимости позволяют оценивать взаимное влияние конструкций гидротехнических элементов узла машинного водоподъема и работы насосов. Если представить НС как совокупность последовательно соединенных элементов, отказ одного из которых приводит к отказу всего комплекса, то на элементы подводящих

устройств приходится значительная статистическая часть распределения вероятности отказов.

К закономерным отказам можно отнести выход из строя рабочих колес насосов из-за абразивного и кавитационного износов лопастей, а также их трения (задевания) о внутреннюю поверхность камеры, что иногда приводит к обрыву лопастей и аварии с поломкой корпусных частей насоса. Эксплуатационная надежность НА зависит также от состояния выправляющего аппарата, износа посадочного места и вкладышей подшипников насосов и т.д.

Поэтому наряду с вопросами специального конструктивного решения по усилению узлов, подверженных наиболее интенсивному износу, необходимо методами диагностирования уточнять степень влияния каждого элемента на долговечность работы агрегата [2].

Значительное внимание для создания системы диагностирования НА диктуется характером эксплуатации и требованием безостановочной работы всех НА в период поливного сезона.

В большинстве случаев появление дефектов на работающем агрегате сопровождается увеличением общего уровня вибрации, что может служить диагностическим признаком первой очереди системы диагностики. Например, при отрыве нижнего обтекателя рабочего колеса общий уровень вибрации по всем направлениям (вертикальному, радиальному и тангенциальному) возрастает. Однако при появлении дефектов механического характера в НА общий уровень может не увеличиваться, но произойдет перераспределение интенсивности вибрации по отдельным составляющим спектра. Следовательно, диагностическим признаком второй очереди диагностики будет оценка интенсивности составляющих спектра вибрации. Появление дефекта в НА не приводит сразу к аварийной ситуации, но достижение отдельными составляющими спектра вибрации интенсивностью  $0,1 \text{ м/с}^2$  является признаком предаварийной ситуации.

Существенное значение в эксплуатации уделяется также работе сифонных водовыпусков и особенно клапанов срыва вакуума (КСВ) от которых в значительной степени зависит эффективность действия НА. Разрядка сифонов в случае негерметичности КСВ приводит к увеличению напора, снижению подачи и КПД насосов. Несвоевременное срабатывание КСВ на открытие при остановке усложняет условия работы насоса, служит причиной повышенной вибрации конструктивных узлов оборудования и здания НС.

Таким образом, надежность НС, в основном, зависит не только от технологической схемы и проектных решений, но и от системы контроля безопасности, правильно налаженной диагностики и эксплуатации. В качестве критериев при управлении надежности использованы следующие понятия:

-Контролируемые показатели - измеряемые с помощью технических средств, количественные и качественные характеристики состояния НС;

-Диагностические показатели - наиболее значимые для оценки состояния НС контролируемые показатели, позволяющие дать оценку безопасности системы в целом или отдельных элементов.

Из расчетных сочетаний нагрузок и воздействий, которые регламентируются действующими нормами, формировались две полные группы событий: сочетания периода постоянной эксплуатации и сочетания периода временной эксплуатации (таблица 1).

Результаты расчетов допускаемого нормами риска по предельным состояниям первой группы элементов НС сведены в таблице 2.

Характерными являются более высокие значения нормативного риска, допускаемого в период временной эксплуатации. Однако это вполне объяснимо, так как при всех прочих равных условиях в данном случае имеет место и опасность строительного периода и ремонта.

Таблица 1. Допускаемые нормами значения риска превышения нормативных значений силовых воздействий по расчетным сочетаниям, 1/год

Класс	Сочетания периода временной и постоянной эксплуатации
-------	---

сооружения	Основное	Особое по макс. расходам	Климатическими воздействиями	Сейсмическими воздействиями	При нарушениях нормальной эксплуатации	В период реконструкции
I	$10^{-4}$ (0,9999)	$5*10^{-5}$	$2*10^{-5}$	$10^{-5}$	$2*10^{-5}$	$2*10^{-4}$
II	$10^{-3}$ (0,999)	$5*10^{-4}$	$2*10^{-4}$	$10^{-4}$	$2*10^{-4}$	$2*10^{-3}$
III	$6*10^{-3}$ (0,994)	$2*10^{-3}$	$1.5*10^{-3}$	$5*10^{-4}$	$2*10^{-4}$	$1.2*10^{-2}$
IV	$10^{-2}$ (0,99)	$4*10^{-3}$	$4*10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$2*10^{-2}$

Примечание: В скобках указана вероятность реализации расчетных сочетаний.

Таблица 2. Риск реализации предельных состояний первой группы элементов

Класс сооружений	Период временной эксплуатации		Период постоянной эксплуатации	
	Верхняя граница риска	Нижняя граница риска	Верхняя граница риска	Нижняя граница риска
I	$10^{-4}$	$7*10^{-5}$	$5*10^{-5}$	$3*10^{-5}$
II	$10^{-3}$	$8*10^{-4}$	$5*10^{-4}$	$4*10^{-4}$
III	$7*10^{-3}$	$5*10^{-3}$	$4*10^{-3}$	$3*10^{-3}$
IV	$1.2*10^{-2}$	$9*10^{-3}$	$6*10^{-3}$	$5*10^{-3}$

Полученные значения нормативного риска в целом согласуются с данными статистики аварий на гидросооружениях ( $10^{-3}$ – $10^{-5}$  1/год в зависимости от типа сооружений и других факторов).

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

*Т.Ш.Мажидов, кандидат технических наук, доцент*

*Э.К. Кан, кандидат технических наук, доцент*

*А.С.Бадалов, ст. преподаватель*

*ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ И МЕЛИОРАЦИИ (ТИИМ),*

*г.Ташкент, Республика Узбекистан*

*Б.Р. Уралов, кандидат технических наук, доцент*

*ГИ «ГОСВОДХОЗНАДЗОР»*

*г.Ташкент, Республика Узбекистан*

Статья посвящена вопросам оценки экономической эффективности реконструкции насосных станций. Рассмотрены основные положения по оценке экономической эффективности на основе материалов по реконструируемым насосным станциям. Обычно при обосновании экономической эффективности реконструкции насосных станций исходят из того, что насосное оборудование отработало свой нормативный срок службы и используют методики применяющиеся при технико-экономическом обосновании строительства новой насосной станции. Предложенная методика определения коэффициента эффективности капитальных вложений в реконструкцию насосных станций позволяет наиболее полно учитывать эффект именно от реконструкции.

The article is devoted to the evaluation of economic efficiency of the reconstruction of the pumping stations. The basic provisions on the assessment of economic efficiency based on the material of the upgraded pumping stations. At substantiation of economic efficiency of the pumping stations reconstruction applied methods used in the feasibility study of the construction of a new pumping station. The proposed method of determining the coefficient of efficiency of capital investments in the reconstruction of pumping stations can more fully take into account the effect from the reconstruction.

Большинство мелиоративных насосных станций Республики Узбекистан (только на балансе Министерства сельского и водного хозяйства насчитывается более 1620 насосных станций) построены более 40-50 лет назад и к настоящему моменту оборудование многих из них морально и физически устарело, выработало свой нормативный ресурс гарантированный заводами-изготовителями насосного оборудования. Поэтому в Республике ведутся

широкомасштабные работы по реконструкции (реабилитации), модернизации насосных станций.

Работа по реконструкции (техническому обновлению и модернизации) насосных станций, как и любых других объектов любой отрасли, требует надежного технико-экономического обоснования и научно-обоснованного методического подхода. Разработка методических основ оценки эффективности реконструкции насосных станций осложняется их уникальностью, а также тем что они по большей части работают совместно с другими объектами водохозяйственного комплекса.

В общем случае, на основании анализа системы показателей (характеризующих фактическую эффективность работы гидроагрегатов и насосной станции в целом), таких как КПД агрегатов, себестоимость производства, затраты на ремонт, продолжительность межремонтного цикла, трудозатраты на эксплуатационное обслуживание и ремонт, показателей эксплуатационной надежности и др., может быть сделан технически и экономически обоснованный вывод о целесообразности обновления оборудования и сооружений путем технического перевооружения или реконструкции насосной станции, отдельных агрегатов или отдельных узлов основного и вспомогательного оборудования.

Обычно для оценки эффективности насосной станции используют: удельные капитальные вложения на 1 м<sup>3</sup> годовой водоподачи, на 1 м<sup>3</sup>/с с максимальной водоподачи и себестоимость 1 м<sup>3</sup> воды [1]. Трудность в определении экономической эффективности заключается в невозможности определения чистого дохода от эксплуатации насосной станции, т.к. в отличие например, от ГЭС насосная станция не производит чистый продукт. Эффективность насосных станций может быть определена по доходу за счет увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Однако здесь имеются большие затруднения в объективном определении прироста урожая, получаемому от увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.



Экономическую эффективность насосных станций рекомендуется [1] определять по показателям общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений. Коэффициент рентабельности капитальных вложений:

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta\Pi - И_{н.с.} - И_{о.с.}}{К_{н.с.} + К_{о.с.}}$$

Где:  $\Delta\Pi$  – стоимость дополнительного урожая сельскохозяйственных культур, получаемых за счет орошения;  $К_{н.с.}$  и  $К_{о.с.}$  – капитальные вложения, или стоимость сооружения, соответственно насосной станции и оросительной сети;  $И_{н.с.}$  и  $И_{о.с.}$  – ежегодные издержки насосной станции и оросительной сети.

Определение экономической эффективности крупных насосных станций имеет свои особенности:

- для таких оросительных систем амортизационные отчисления не включают в ежегодные издержки по эксплуатации;

- трудности при определении доли урожая, получаемого за счет орошения (действия насосных станций). Так как урожай сельскохозяйственных культур зависит также и от удобрений, агротехнических мероприятий.

Модернизация и расширение действующих промышленных предприятий во многих случаях позволяют при сравнительно меньших затратах, чем при строительстве новых сооружений, увеличить выпуск продукции.

При расчете необходимо учитывать специфические условия проведения работ и ряд дополнительных факторов, влияющих на расчетный объем капитальных вложений и в итоге на экономический эффект реконструкции.

При замене оборудования капитальные вложения состоят из стоимости устанавливаемого нового оборудования и стоимости строительно-монтажных работ, включая демонтаж старого и монтаж нового оборудования. Отраслевые затраты  $К_{отр}$  представляют собой величину  $К_0$  за вычетом отчислений на реновацию, произведенных за фактический срок службы ТФ заменяемого оборудования. Если демонтируемое оборудование используется для установки на каком либо другом объекте, в расчет эффективности реконструкции вводят

капитальные вложения, равные разности  $K_0$  и ликвидной стоимости демонтированного оборудования  $K_л$ . Если демонтируемое оборудование не может быть полезно использовано на других объектах, значение  $K_л$  равно стоимости получаемого металлолома.

В результате реконструкции сельское хозяйство получит дополнительную продукцию с вновь вводимых в оборот земель, ранее неорошаемых.

Критерием целесообразности обновления ОПФ рекомендуется условие:

$$ИД > З_{обн}$$

Где: ИД- годовые текущие затраты при действующем оборудовании;

$З_{обн}$ - годовые приведенные затраты при обновленном оборудовании.

$$З_{обн} = И_{обн} + E_H K_{обн}$$

Эффект реконструкции насосных станций состоит:

- - в увеличении КПД агрегатов,
- - снижении эксплуатационных расходов и повышении

эксплуатационной надежности;

- - в результате реконструкции сельское хозяйство получит дополнительную продукцию с вновь вводимых в оборот земель, ранее неорошаемых.

Все эти факторы и должны быть учтены при технико-экономическом обосновании.

Экономическую эффективность реконструкции насосных станций рекомендуется определять по показателям общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений.

Коэффициент рентабельности капитальных вложений в реконструкцию насосной станции:

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta Ц + \Delta И_{н.с.} - И_{н.с.}}{K_{рек}}$$

$\Delta Ц$  – стоимость дополнительного урожая сельскохозяйственных культур, получаемых за счет реконструкции;  $K_{рек}$ - капитальные вложения, или стоимость реконструкции насосной станции;  $И_{н.с.}$  - ежегодные издержки

насосной станции;  $\Delta И_{н.с.}$  - снижении эксплуатационных расходов за счет реконструкции.

Ежегодные затраты на эксплуатацию насосной станции складываются из следующих расходов:

- затраты на содержание эксплуатационного персонала;
- затраты на капитальный и текущий ремонт;
- стоимость электроэнергии;
- прочие (стоимость смазки, обтирки и охраны труда).

для насосных станций таких оросительных систем амортизационные отчисления не включают в ежегодные издержки по эксплуатации;

В результате реконструкции уменьшаются затраты на текущий и капитальный ремонт и стоимость электроэнергии в результате увеличения КПД обновленного оборудования.

Снижении эксплуатационных расходов за счет реконструкции  $\Delta И_{н.с.}$  складывается из следующих составляющих:

$$\Delta И_{н.с.} = \Delta(З_{т.р.} + З_{к.р.}) + \Delta З_{э.э.}$$

$\Delta(З_{т.р.} + З_{к.р.})$  – снижение затрат на текущий и капитальный ремонт;

$\Delta З_{э.э.}$  – снижение затрат на электроэнергию за счет повышения КПД агрегатов.

Тогда формула определения коэффициента примет вид:

$$\mathcal{E}_p = \frac{\Delta Ц + \Delta(З_{т.р.} + З_{к.р.}) + \Delta З_{э.э.}}{K_{рек}}$$

Ниже приводится пример расчета экономической эффективности реконструкции насосной станции по предложенной методике.

Для расчета примем данные по насосной станции «Гувалак».

Необходимые данные для расчета представлены в таблице 1:

**Таблица 1. Технические показатели насосной станции «Гувалак».**

№	Наименование показателей	Ед.изм	До реконструкции	После реконструкции
1	Площадь орошения	га	3400га	4800
2	Требуемая подача	м <sup>3</sup> /с	4,8	4,8
3	Подача фактическая	м <sup>3</sup> /с	3,5	4,85
4	Напор геометрический	м	25	25
5	Установленная мощность	кВт	2500	2500
6	Объём перекачиваемой воды за год	млн.м <sup>3</sup>	22,18	97,84
7	Потребляемая электроэнергия за год	млн.кВт час	3,711	12,03
8	Затраты электроэнергии на 1 м <sup>3</sup> подъема воды	кВт*час/м <sup>3</sup>	0,167	0,100
9	Количество агрегатов	шт	5 (4раб.+1резер.)	5
10	Напор насоса максимальный	м	33	41,4
11	Подача насоса	м <sup>3</sup> /с	0,78	0,97÷1,13
12	КПД	%	80	88

1) Определение стоимостных показателей:

Для расчета приняты формулы определения капитальных вложений по укрупненным показателям, выведенные на основе статистической обработки данных по 20 реконструируемым насосным станциям:

$$K_{рек} = 14N^{0,64} = 14 * 2500^{0,64} = 2093 \text{ тыс.долл.}$$

$$K_{рек} = 92Q^{0,76} H^{0,58} = 92 * 4,8^{0,76} * 30^{0,58} = 2179 \text{ тыс.долл.}$$

Примем  $K_{рек} = 2179 \text{ тыс.долл.США}$

2) Расчет коэффициента по предлагаемой формуле:

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta Ц \pm \Delta И_{н.с.}}{К_{рек}}$$

– снижение затрат на текущий и капитальный ремонт. Так как при новом оборудовании периодичность кап.ремонтов 1 раз в 6 лет, а при нынешнем положении 1 раз в 2 года, то примем за величину значение в 33 % от общих затрат на текущий и капитальный ремонт.

$$\Delta(З_{т.р.} + З_{к.р.}) = 0,33 * (1210635,7 \text{ тыс.сум} + 196319,3 \text{ тыс.сум}) = 0,33 * 1406955 \text{ тыс.сум} = 464295 \text{ тыс.сум} = 232 \text{ тыс.долл.}$$

- снижение затрат на электроэнергию за счет повышения КПД агрегатов. Согласно данным таблицы 1 КПД насосов повышается на 8 %. Тогда с учетом стоимости электроэнергии на 1. 04.2013г.-112,2сум

За счет увеличения КПД:

$$\Delta З_{э.э} = 0,08 * 3,711 \text{ млн.кВт час} * 112,2 \text{ сум за кв. час} = 30,99 \text{ млн.сум} = 15,49 \text{ тыс.долл.}$$

Увеличение затрат за счет увеличения потребляемой электроэнергии:

$$\Delta З_{э.э} = (12,03 - 3,711) \text{ млн.кВт} * \text{час} * 112,2 \text{ сум} = 933 \text{ млн.сум} = 467 \text{ тыс.долл.}$$

**США**

– стоимость дополнительного урожая сельскохозяйственных культур, получаемых за счет реконструкции;

$$\Delta Ц = 1400 \text{ га} * 31 \text{ ц/га} * 122,8 \text{ долл./т} = 532952 \text{ долл. США}$$

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta Ц + \Delta(З_{т.р.} + З_{к.р.}) + \Delta З_{э.э}}{К_{рек}} = \frac{532,952 + 232 + 15,49 - 467}{2179} = \frac{313,44}{2179} = 0,16$$

Таким образом, предварительный расчет эффективности реконструкции насосной станции «Гувалак» показал, что коэффициент рентабельности равен 0,16, т.е. больше нормативного для данной отрасли и реконструкция насосной станции экономически целесообразна. При расчете не учитываются такие важные качественные показатели как социальный, экологический эффект, с учетом которых факторы в пользу реконструкции насосной станции несомненно поднимутся.

## ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ КАЗАХСТАНА

*Т.Т. Ибраев, доктор философии (PhD), доцент,  
М.А. Ли, кандидат технических наук*  
ТОО «КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА»  
*г. Тараз, Казахстан*

На основании обзора проблем функционирования водохозяйственных объектов Казахстана рекомендуется разработка и принятия законопроекта по безопасности гидротехнических сооружений. Это позволит урегулировать правовые отношения в сфере эксплуатации гидротехнических сооружений и решить наиболее острые вопросы обеспечения их безопасности.

On the basis of the review of problems of functioning of water management objects of Kazakhstan development and adoptions of the bill on safety of hydraulic engineering constructions is recommended. It will allow to settle legal relations in the sphere of operation of hydraulic engineering constructions and to resolve the most sensitive issues of ensuring their safety.

В Казахстане насчитывается 643 гидротехнических сооружений (ГТС), имеющих различную ведомственную принадлежность и форму собственности. на сегодняшний день многие ГТС в стране находятся в коммунальной (49%) и частной (31%) собственности. В их число входят 340 гидроузлов и ГТС, функционирующих в системе водного хозяйства. В настоящее время на территории республики имеется 270 водохранилищ с комплексом ГТС, из которых 62 водохранилища республиканского значения и 208 местного значения. Указом Президента Республики Казахстан 57 водохранилищ и 29 водоподпорных ГТС включены в перечень объектов, имеющих особое стратегическое значение. На перераспределение годового стока рек большое влияние оказывают водохранилища с режимом многолетнего регулирования стока. Наиболее крупные из них: Бухтарминское (на р. Иртыш) с полным объёмом 49,0 км<sup>3</sup>, Капшагайское (на р. Или) с объёмом 28,1 км<sup>3</sup>, Шардаринское (на р. Сырдарья) - 5,2 км<sup>3</sup>, Верхне-Тобольское и Каратомарское (на р. Тобол) -

соответственно 0,82 и 0,59 км<sup>3</sup>, Вячеславское и Сергеевское (на р. Ишим)–0,4 и 0,7 км<sup>3</sup>. [1]

По территории Казахстана протекает около 800 рек протяженностью 50 и более километров, на которых под воздействием природно-хозяйственных факторов возникают наводнения. Наводнения отмечаются ежегодно, но их распространение и масштаб год от года варьируют весьма существенно. Примерно раз в 50-100 лет на реках Казахстана проходят катастрофические наводнения. К территориям, подверженным им, относятся северо-западные, северные, восточные, юго-восточные и центральные регионы. Наибольший ущерб приносят наводнения на реках Урал, Тобол, Ишим, Нура, Эмба, Торгай, Сарысу, Бухтарма, а также на их многочисленных притоках. Наводнения могут быть также вызваны аварийными сбросами воды из водохранилищ, прорывами прудов-накопителей и других искусственных водохозяйственных сооружений. За последние 10 лет в Казахстане зарегистрировано более 300 наводнений различного происхождения, из которых 70 % приходится на наводнения, связанные с весенним половодьем, 30 % были вызваны дождями и 10 % - другими причинами.

Наличие большого количества напорных грунтовых ГТС (70 %), аккумулирующих огромные запасы водной энергии, создают потенциальную угрозу безопасности социально-экономической инфраструктуре и природной среде.

Если учитывать, что вероятность аварий на ГТС начинает резко повышаться и при этом возрастает опасность их разрушения, сегодня они требуют незамедлительной реконструкции. Фактический износ большинства водохозяйственных объектов на сегодня уже составляет 60% и более. На названных и многих других объектах со времени ввода их в эксплуатацию не производились ремонтные и восстановительные работы, поэтому из года в год снижается их надежность и безопасность.

Комитетом по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства проведены обследования технического состояния водохозяйственных объектов



республиканского значения и определены необходимые средства на их восстановления и реконструкцию (рисунок 1).



Рисунок 1. Техническое состояние водохозяйственных объектов и необходимые средства на восстановление и реконструкцию

По данным Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел в Казахстане из 643 имеющихся ГТС 268, в том числе 28 крупных - нуждаются в срочном ремонте. В республиканской собственности находится 24 процента крупных ГТС, остальные – на балансе коммунальных, промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Серьезной проблемой являются малые ГТС, часть которых заброшена, не имеет владельцев или эксплуатационную службу. Техническое состояние их крайне неудовлетворительное.

К основным показателям эксплуатационной надежности ГТС, безусловно, относится их безопасность, т. е. наличие определенных свойств, позволяющих при нормальном эксплуатационном состоянии ГТС исключить возникновение аварийных (чрезвычайных) ситуаций и обеспечить защиту

жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов.

Ухудшение технического состояния основных производственных фондов водного хозяйства и, в первую очередь, водоподпорных ГТС происходит в результате снижения инвестиционной активности и недостаточного финансирования планово–предупредительных работ.

Непрерывная реорганизация структур государственного управления, разгосударствление региональных проектных и научных организаций и потеря в связи с этим значительной части информации о водных объектах негативно сказываются на организации работ по обеспечению безопасности ГТС.

В процессе обследования установлены основные группы признаков и факторов, влияющих на состояние эксплуатируемых сооружений: тип и класс сооружений, условия эксплуатации, право собственности, эксплуатационное состояние, организация контроля, срок службы сооружений, характеристика территории и др.

Из результатов обследования ГТС следует:

- практически у всех обследованных гидротехнических сооружений качественная оценка уровня безопасности – пониженная;
- функционирование большинства ГТС превышает проектный срок службы;
- на многих объектах отмечается недостаточный запас строительных материалов, необходимо повышение квалификации эксплуатационного персонала;
- фактически на всех обследованных объектах наблюдается факт недостаточного и несвоевременного проведения ремонтно-восстановительных работ;
- объекты водохранилищных комплексов требуют уточнения параметров водохранилищ (вследствие их заиления).

Практика показывает, что регулярная оценка технического состояния ГТС и проведение по ее результатам ремонтных работ позволяют в несколько раз сократить ущерб от вредного воздействия вод или возможных аварий.

По информации о разрушении плотин Международной комиссией по крупным плотинам:

- вероятность разрушения плотин зависит от их высоты; наиболее часто разрушаются малые плотины;

- проблемы, возникающие в основании плотины, являются наиболее частой причиной разрушения бетонных плотин. На долю внутренней эрозии и прочности оснований приходится по 21% разрушений;

- наиболее частой причиной разрушения грунтовых и каменных плотин является перелив через гребень (31% главная причина, 18% - дополнительная причина). Далее следует внутренняя эрозия тела плотины (15% главная причина, 13% – дополнительная причина) и ее основания (12% главная причина и 15% - дополнительная);

- для плотин с каменной кладкой наиболее характерной причиной разрушения является перелив через гребень (43%), за которым следует внутренняя эрозия основания (29%);

- среди технических причин разрушения наиболее распространенной является недостаточная мощность водопропускных устройств (22% главная причина, 30% дополнительная причина).

Анализ крупных аварий последних лет с катастрофическими последствиями, происходящих в разных странах мира показывает, что одной из главных причин их возникновения является человеческий фактор, когда не подготовленные службы эксплуатации не могут локализовать аварийные ситуации на ГТС. Около 50 % аварий и связанных с ними чрезвычайных ситуаций, являются результатом низкой квалификации эксплуатационного персонала, неправильной организацией работ, нарушения или отсутствия норм и правил безопасности ГТС, а также неэффективного контроля за их безопасностью.

В Казахстане отсутствует специальное законодательство по обеспечению безопасности ГТС. В настоящее время основной правовой базой в этой области является Водный кодекс Республики Казахстан.

Министерством сельского хозяйства в 2008 году был подготовлен проект Закона «О безопасности гидротехнических сооружений». Правительство, с учетом рекомендаций межведомственной комиссии по законопроектной работе, приняло решение о нецелесообразности принятия отдельного закона и положения законопроекта были внесены в виде поправок в Водный кодекс, принятый в начале 2009 года.

В то же время, чрезвычайные ситуации на ГТС, произошедшие в последние годы, в частности, прорыв плотины в селе Кызылагаш, размыв плотины водохранилища Кокпекты в Бухар-Жирауском районе Карагандинской области и другие показали, что положения существующего Кодекса не обеспечивают в полной мере решение как правовых, так и организационных вопросов безопасной эксплуатации ГТС, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на этих объектах.

Сегодня назрела необходимость разработки и принятия законопроекта по безопасности гидротехнических сооружений, который позволит урегулировать правовые отношения в сфере безопасности ГТС, проводить работы по реконструкции существующих и строительству новых водохозяйственных объектов, привлекать инвестиции, в том числе внешние, устойчиво развивать межгосударственные отношения с сопредельными государствами по вопросам регулирования использования водных ресурсов трансграничных рек, сохранить экологическое равновесие бассейнов водных объектов.

**К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА  
ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩНЫХ  
ГИДРОУЗЛОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

***Ф.Ш. Шаазизов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИРРИГАЦИИ И ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ,  
Ташкент, Узбекистан***

**Аннотация**

В статье представлены результаты работ по созданию системы мониторинга за техническим состоянием водохранилищных гидроузлов для обеспечения безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений, также принятия экологически значимых решений на уровне бассейнов рек Амударья и Сырдарья.

**Abstract**

In the article are presented results of works on creation of monitoring system on a technical state of water reservoir hydrounits for safety operation of hydrotechnical constructions, also acceptances of ecologically significant decisions on the level of Amudarya and Syrdarya river basins.

На современном этапе развития водохозяйственного комплекса в нашей республике наблюдается тенденция выхода из строя и ухудшение работоспособности многих крупных гидротехнических сооружений, которые характеризуются прогрессирующим старением оборудования и сооружений, входящих в их состав.

Многие крупные гидротехнические сооружения, построенные в прошлом столетии, исчерпали свой эксплуатационный ресурс и находятся в сильно изношенном состоянии и представляют большую потенциальную опасность для населения республики. В связи с этим вопросы безопасности ГТС, в частности, крупных водохранилищных гидроузлов, в настоящее время становятся очень важными для нашей республики.

В Научно- исследовательском институте ирригации и водных проблем на протяжении уже ряда лет в рамках государственной научно –технической

программы проводятся исследования в данном направлении, при этом используется ценный опыт ученых таких передовых зарубежных стран как Германия, Япония. Так в частности в рамках гранта «Разработка научно-методической основы оценки и мер по обеспечению безопасности особо крупных ГТС» на основе ГИС технологий была создана база данных, содержащая информацию о размещении, основных технических параметрах и показателях, а также о современном состоянии крупных водохранилищных гидроузлов нашей республики.

Была специально разработана форма (паспортная характеристика), отражающая общую характеристику рассматриваемого гидроузла с проектными данными и данными проведенных инспекторских обследований объектов.

Результаты по состоянию крупных водохранилищных гидроузлов были получены на основе проведенных многолетних натуральных инструментальных исследований, проведенных сотрудниками института.

**Данная форма заносится в базу данных в среде ГИС ArcView 3.3. (рис.1.)**

**Кроме этого данная система содержит в себе и географическую информацию, следующего рода:**

- место расположение объекта с точными координатами;
- топографические особенности региона;
- расположение крупных близлежащих населенных пунктов.

**Данное обстоятельство позволяет в дальнейшем спрогнозировать последствия могущие возникнуть при аварии данного сооружения и является крайне необходимым инструментом для принятия экстренных мер по предотвращению чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, которые могут возникнуть в рассматриваемом регионе.**

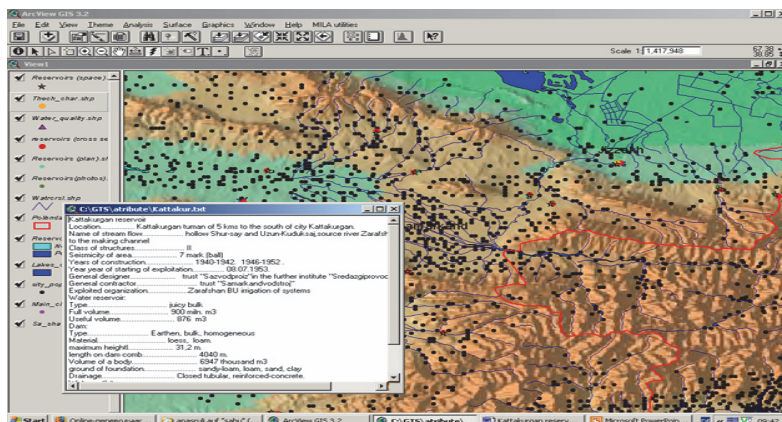


Рисунок 1. база данных в среде ГИС ArcView 3.3.

Смоделировав в среде ГИС процесс возможного разрушения плотины водохранилищного гидроузла, учитывая при этом пластику рельефа местности, можно будет тем самым определить зоны и масштабы затоплений нижерасположенных территорий. Это дает нам возможность выявить и определить зоны эвакуации населения, проживающего в зоне затопления.

Положение водохранилищ и гидротехнических сооружений (координаты расположения) указывается на цифровой карте, приводятся также данные о гидрохимическом составе, которые введены в интерактивную карту в виде таблиц, при этом использовались соответствующие компьютерные программы.

В данной научной статье представлены результаты работ по первому этапу создания ГИС для информационной поддержки по вопросам разработки научно-методической основы оценки и мер по обеспечению безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений, также принятия экологически значимых решений на уровне бассейнов рек Амударья и Сырдарья. Целью работы являлось создание комплекса цифровых карт бассейна Аральского моря, базы данных, содержащих атрибутивную информацию о нынешнем техническом состоянии крупных водохранилищных гидроузлов, а также средства расчета и отображения комплексных показателей на основе разнородных пространственно распределенных данных. В созданной карте гидротехнического мониторинга

бассейна Аральского моря, представлены гидротехнические данные водохранилищ за последние 10 лет, в двух формах, в виде фотографий, диаграмм или таблиц, где можно получить результаты, указывая курсором на пункт наблюдения.

Основные параметры, используемые в компьютерной системе поддержки.

- 1) Система координат;
- 2) Возможность заполнять несколько пространственных слоев цифровых карт, растровых и векторных объектов;
- 3) Создание файлов банка данных;
- 4) Графический показ исследуемых объектов по технологии ГИС;
- 5) Реализация экспериментальных работ с использованием созданной системы.

Структура и формат используемой информации для компьютерной системы поддержки решений по гидротехническим сооружениям.

- 1) Текстовая информация (методические сообщения, инструкция относительно использования);
- 2) Цифровая информация (статистика, таблицы);
- 3) Графическая информация (диаграмма, фотографии, карта);
- 4) Векторные информационные слои пользователя тематических и топографических карт;
- 5) Ссылки на файлы, содержащиеся в информационных базах ( Microsoft Excel- базы данных);
- 6) Цифровая карта Узбекистана на основе ГИС-технологий.

Так в частности, при наведении курсора компьютера на Ташкентское водохранилище (старое название Туябугузское) в разработанной цифровой карте появляются космические снимки водохранилища (Космические снимки мировой системы спутникового наблюдения Google).

Подобные спутниковые фотографии приведены на нашей карте для 56 водохранилищ республики.



Также при наведении курсора выходят таблицы с химическим составом воды в этих водохранилищах. Данные получены из лабораторий Главгидромета Узбекистана.

Кроме того, в разработанной карте имеется информация об объектах, т.е. приведены таблицы основных технических параметров гидротехнических сооружений. В цифровой карте также существует возможность рассмотреть фотографии водохранилищ, чертежи (продольные и поперечные разрезы) по основным гидротехническим сооружениям, входящим в состав водохранилищного гидроузла.

Цифровая карта позволяет решать следующие задачи:

- Развитие с научной точки зрения - методического основания оценки и мер для безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений.
- Характеристика и классификация особенно крупных гидротехнических сооружений, в виду их социальной и экономической и экологической важности для Узбекистана.
- Определить уровень безопасности гидротехнических сооружений, рекомендации для увеличения их надежности и безопасности. Критерии безопасного состояния отдельных элементов гидротехнических сооружений.
- Гидравлическая модель процессов, возникающих в случае возникновения отказов или разрушений гидротехнических сооружений.
- Рекомендации на увеличении надежности и безопасности действия ГТС.
- Создание более детальных ГИС, цифровых карт для особо опасных зон около основных гидротехнических сооружений Узбекистана.

Основные результаты, полученные при проведении исследований, сводятся к следующему:

1. Разработана классификационная характеристика крупных водохранилищных гидроузлов с учетом социально – экономической зависимости для Узбекистана;

2. Разработана классификационная характеристика рисков аварий и отказов на крупных водохранилищных гидроузлах;

3. Разработана методика общей оценки технического состояния и уровня безопасности водохранилищных гидроузлов с выявлением критических параметров и элементов;

4. Выявлен состав диагностических параметров подлежащих соблюдению и контролю при обеспечении безопасной эксплуатации водохранилищных гидроузлов;

5. Создана ГИС карта по районам проведенных исследований и разработана цифровая карта с расположением крупных водохранилищных гидроузлов и их основными техническими параметрами;

**НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ  
С ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ  
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*М.В. Нестеров, кандидат технических наук, доцент  
И.М. Нестерова, кандидат сельскохозяйственных наук,  
старший преподаватель  
УО «БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ», г. Горки, Республика Беларусь*

Приведены результаты натурных исследований водорегулирующих сооружений на каналах мелиоративных систем. В этих сооружениях вместо шпунтовых стенок применены полиэтиленовые пленочные завесы.

There have been given the results of full-scale experiments of water regulating constructions on the canals of melioration systems. Polyethylene filmy screens have been used instead of sheet pilings in these constructions.

Современные мелиоративные системы насыщены большим количеством различных гидротехнических сооружений, обеспечивающих надежное регулирование водного режима на мелиорируемых площадях. Особое место здесь принадлежит подпорным гидротехническим сооружениям – регуляторам, которые создают необходимый подпор уровней воды в каналах и водоприемниках, что позволяет регулировать водно-воздушный режим почв [1,2].

Характерным для Полесской низменности является наличие в основаниях сооружений хорошо водопроницаемых грунтов. Последнее вызывает необходимость применять противофильтрационные устройства при строительстве водоподпорных сооружений.

В конце семидесятых начале восьмидесятых годов прошлого столетия кафедрой гидротехнических сооружений был выполнен комплекс научных исследований позволяющий заменять традиционные материалы (глина, дерево,

метал) применяемые при устройстве противофильтрационных элементов водоподпорных сооружений на пленочные полимерные материалы [3].

Совместно с производственными организациями Гомельской области треста «Гомельводстрой» (сейчас это объединение называется КУП «Гомельмелиоводхоз») была разработана технология строительства противофильтрационных завес из пленочных полимерных материалов, в основу, которой был положен метод «стена в грунте». В качестве пленочного материала использовалась полиэтиленовая пленка толщиной 0,20 мм стабилизированная сажей. Пленка укладывалась в два слоя с помощью специально изготовленного устройства, которое навешивалось на базовую машину. В качестве базовой машины применялся многоковшовый экскаватор.

Таким образом, были построены водорегулирующие сооружения в ряде районов Гомельской области. На построенных регуляторах (типовая разработка института «Белгипроводхоз») вместо глиняного понура и деревянной шпунтовой стенки были выполнены, соответственно, понур и вертикальная пленочная противофильтрационная завесы из полиэтиленовой пленки.

Два регулятора уровней ШР 2,5...5 на р. Неманка Ветковского района и ШР 2,5 – 2x4 на канале «Лукском» Рогаческого района при строительстве были оборудованы необходимым количеством пьезометров. Пьезометры расположены по трем характерным створам – вдоль левого берега, по оси сооружения и вдоль правого берега. В каждом створе установлено по три пьезометра с расположением их перед завесой, непосредственно за завесой и на выходе, т.е. пьезометры были устроены таким образом, чтобы можно было оценить эффективность работы (гашение напора) полиэтиленового понура, полиэтиленовой завесы и подземного контура в целом (рис.1.).

Исследование режима фильтрационного потока в основании регуляторов уровней производилось в весенне-летний период. Уровни воды в пьезометрах замерялись с помощью специально изготовленного электрического датчика с точностью до 1,0 см.

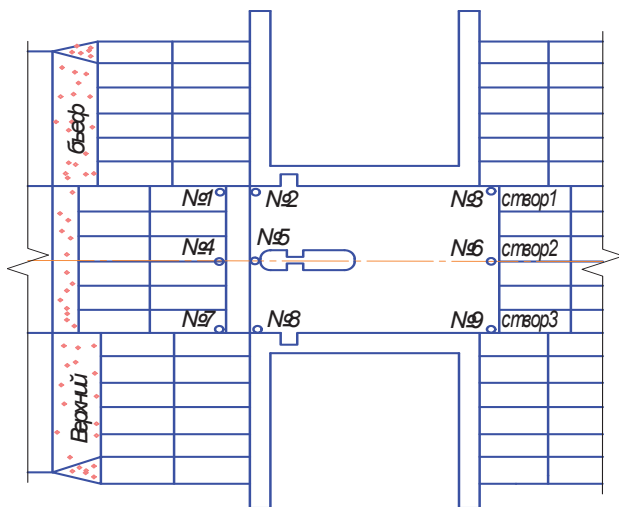


Рис. 1 – Схема размещения пьезометров на водоподпорном сооружении

Исследования проводятся с 2005 года. После многолетней работы сооружений при визуальном наблюдении никаких повреждений и деформаций не обнаружено. Систематические наблюдения по пьезометрам позволили получить картину фильтрационного потока в основании регуляторов уровней.

В процессе полевых исследований до закрытия затворов измерялся уровень грунтовых вод. На объекте «Неманка» на сооружении ШР 2,5...5 уровень грунтовых вод составлял (разные годы) 0,4...0,7 м относительно плиты водобоя. Напор на сооружения увеличивали небольшими ступенями в 0,2...0,3 м и через 4...6 часов производили замер уровней воды в пьезометрах. После установившейся фильтрации (при заданном напоре показания пьезометров оставались постоянными) напор увеличивали на следующую ступень и т.д. По данным показаний пьезометров были построены линии пьезометрических напоров фильтрационного потока вдоль подземного контура сооружения.

На рисунке 2 показаны линии пьезометрических напоров вдоль подземного контура водоподпорного сооружения ШР 2,5...5 при напорах 1,10 м; 1,55 и 1,70 м.

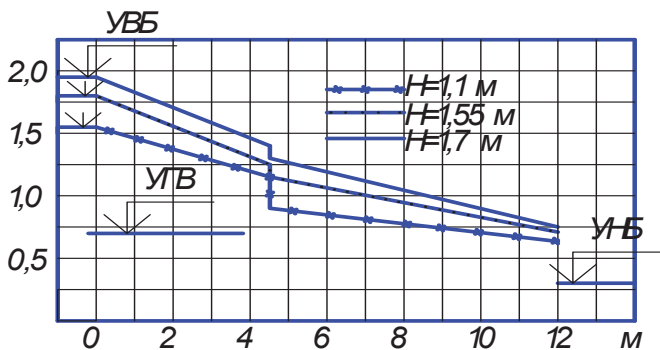


Рис. 2 – Линии изометрических напоров вдоль подземного контура водоподпорного сооружения

Из анализа рис.2 следует, что при изменении напора на сооружении от 1,1 до 1,7 м гашение напора на полиэтиленовом понуре длиной 4,5 м достигается соответственно 32...38% от общего напора. Гашение же напора на вертикальной полиэтиленовой завесе изменяется обратно пропорционально напору и составляет 15...5% от общего напора. Такое изменение объясняется пространственной схемой фильтрации вдоль подпорных сооружений мелиоративных систем. Гашение напора на водобойной части и на выходе, при увеличении напора от 1,1 до 1,7 м увеличивается соответственно от 54 до 57%. Выходные градиенты при этом изменяются (с учетом уровня грунтовых вод) от 0,13 до 0,24.

Аналогичные исследования в период 1962–1966 гг. проводились БелНИИМиВХ на подпорных сооружениях с грунтовыми понурами и металлическими шпунтовыми стенками. На основании этих исследований установлено, что металлический шпунтовый ряд. Забитый на глубину 3,0 м, обеспечивает гашение не более 5...11% общего напора, грунтовый понур из глины гасит 30...60% общего напора, водобой – 30...60%. Выходные градиенты изменяются от 0,28 до 0,55. Исследования проводились при напорах 0,6...1,79 м.

В заключении следует отметить, что устройство пленочных противофильтрационных завес показало значительное преимущество таких работ перед изготовлением традиционных шпунтовых рядов на регуляторах уровней, применяемых в мелиоративном строительстве.

Забивка шпунтового ряда из дерева на регуляторе уровней Шр 2,5 – 2х4 осуществляется в течение 4 рабочих смен бригадой в 6 человек с применением специального оборудования. При глубине шпунта 2,5 м и длине стенки около 25 м расходуется ценный деревянный брус в количестве около 9 м<sup>3</sup>. При закладке пленочной завесы расходуется около 15 кг пленки, работа выполняется в течение одной смены с занятостью не более 4 человек.

## КОНСТРУКЦИИ ПОЛЬДЕРНЫХ СИСТЕМ

**М.В. Нестеров, кандидат технических наук, доцент**  
УО «БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ», г. Горки, Республика Беларусь

**Наумов В.А., Пунтусов В.Г., Шадрин Н.И., Ковалев В.П.**  
КГТУ, г. Калининград, Россия  
ООО «БЮРО МЕЛИОРАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ», г. Калининград, Россия

**И.М. Нестерова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший  
преподаватель**  
УО «БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ», г. Горки, Республика Беларусь

Объединение массивов осушения отдельных польдерных систем использованием сети соединительных каналов, включая акведуки и другие гидротехнические сооружения, приводит к единому гидрологическому объекту, осушаемому группой насосных станций. Расчет параметров дренажа, сети соединительных каналов и параметров насосной станции образованного объекта должен рассматриваться с учетом размеров площади осушаемого массива, характерного времени польдерной системы, и топологии системы.

Combining arrays of individual polder drainage systems using a network of connecting channels, including aqueducts and other waterworks, leads to a single hydrological features, the drying group pumping stations. Calculation of parameters of drainage network connecting channels and the parameters of the pumping station formed the object should be made taking into account the size of the area drained array, the characteristic time of polder systems, and system topology.

*Введение.* Польдерные системы, проектируемые для обеспечения сельскохозяйственного производства, должны обеспечивать, в первую очередь, требуемый для выращиваемых культур режим влажности почвы в течение вегетационного периода. Так же необходимыми условиями являются обеспечение технологий сельскохозяйственного производства, обработки почвы, внесения удобрений, уборки и транспортировки урожая. Действующие польдерные системы Неманской низменности, в период их активной эксплуатации, показали высокие эксплуатационные характеристики, соответствующие, в основном, требованиям сельскохозяйственного производства. В процессе проектирования действующих польдерных



применено достаточно большое количество оригинальных конструктивных и проектных решений. И, таким образом, была создана база для системных экспериментальных исследований и дальнейшего развития теории и практики проектирования систем, а так же условия детализации закономерностей формирования стока на безуклонных массивах при принудительной откачке и, как следствие, разработки новых проектных решений.

*Анализ литературных источников.* В практике расчета и проектирования польдерных систем и теоретических работах в России, Беларуси не рассматривался вопрос проектирования польдерных систем, массив осушения которых обслуживается группой насосных станций, размещаемых на контуре массива и имеющих сеть соединительных каналов, а также не рассматривались вопросы проектирования систем, как линейных гидрологических объектов [1,2]. При анализе работы массивов польдерных систем, имеющих сеть соединительных каналов, т.е. как единого гидрологического массива, обслуживаемого группой насосных станций, использованы материалы треста «Росводстрой» [3]. Возможность приведения польдерных систем к линейному виду рассмотрена в [4].

*Объекты и методы исследований.* Объектами исследований являются польдерные системы Неманской низменности Калининградской области. Основными методами исследований были метод водного баланса и режимные экспериментальные откачки с проведением системных наблюдений за формированием уровней воды в каналах и связанных с ними уровней грунтовых вод. Экспериментальные работы были проведены на шести польдерных системах и опытном участке «Тимирязевский» площадью 25 га, имеющим собственную насосную станцию, и фактически являющимся мини польдерной системой. Участок «Тимирязевский» находится в пределах системы 21, но не подходит под схему польдер в польдере, так как сброс стока с массива осуществляется непосредственно в водоприемник, р.Немонинку.

*Результаты и их обсуждение.* Анализ развития польдерного осушения Неманской низменности в историческом разрезе показывает, что изначально

строительство польдерных систем Неманской низменности основывалось на опыте Голландии. В дальнейшем, по результатам эксплуатации систем, общей тенденцией развития стало уменьшение площади массивов осушения и увеличение удельной производительности насосных станций, которая прослеживается и в настоящее время (рис.1, табл.1). Всего на Неманской низменности выделено шесть массивов осушения, четыре из которых, Юго-западный, Славский, Неманский, Тимирязевский массивы имели хорошо выраженную гидравлическую и, естественно, гидрологическую связь, обеспечиваемую сетью соединительных каналов [2]. Характеристики Тимирязевского массива осушения приведены в таблице 1.

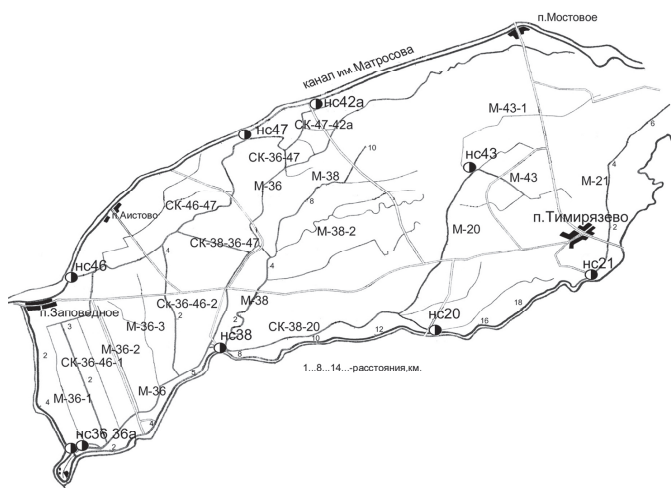


Рис. 1. Тимирязевский массив осушения насосных станций 20,36,36а,38,43,46,47, имеющих общую сеть соединительных каналов и индивидуальные системы 42а, 21.

Таблица 1. Динамика характеристик польдерных систем  
Тимирязевского массива осушения.

№ п/п	Номер систе- мы	Годы строительства и характеристики систем					Шифр соединитель но-го канала	Q <sub>кан.</sub> , м <sup>3</sup> /с
		1864- 1937 F <sub>м</sub> /Q <sub>ис</sub>	1946- 1965 F <sub>м</sub> /Q <sub>ис</sub>	1965- 1970 F <sub>м</sub> /Q <sub>ис</sub>	1970- 1985 F <sub>м</sub> /Q <sub>ис</sub>	1985- 2012 F <sub>м</sub> /Q <sub>ис</sub>		
1	нс 36	5585/4.0 4270/6.4	4270/5.5	4270/5.5	2970/5.5	2970/5.5	СК-36-46-III СК-36-46-II СК-36-46-I СК-36-38-I СК-36-38-II СК-36-47	0,30 0,30 0,30 1,13 1,14 0,16
2	нс 38	2890/2.8	2890/2.8	2890/2.8	2290/1.6	2290/1.6		
3	нс 46	1040/2.0	1200/1.7	1200/1.7	1200/1.7	1200/1.7		
4	нс 47	575/1.0	575/1.0	395/1.0	395/1.0	395/1.0		
5	нс 20	1455/2.5	1455/2.5	1455/2.5	1930/2.8	1930/2.8	СК-20-38	1,60
6	нс 42а	-	-	-	1454/2.6	1454/2.6		
7	нс 43	1950/2.1	1950/1.0	1950/1.0	1950/1.0	1950/1.0	СК-43-20	1,60

Первыми на массиве были построены насосные станции 36,38,20. Далее, для более эффективного осушения земель были построены насосные станции 46,47 и станция первого подъема 43. Построенная в 1977 г. на канале М-47 польдерная система 42а, «отрезавшая» от Тимирязевского массива осушения площадь в  $F_{ис} = 1454$  га, подтверждает тенденцию уменьшения площади массивов осушения и увеличения удельной производительности насосных станций. Здесь исключением является насосная станция 38, в результате перестроения топологии массива получившая меньшую производительность. Производительность насосной станции первого подъема 43, ввиду изменения сельскохозяйственного назначения массива также была уменьшена.

Конструирование польдерных систем включает достаточно широкий набор технических и инженерных решений, основанных на закономерностях формирования стока на безуклонных массивах осушения. Одним из инженерных решений является устройство сети соединительных каналов, объединяющих отдельные массивы систем в единую гидрологическую систему [2].

Данные Юго-западного, Славского, Неманского и Тимирязевского массивов и рассчитанные значения производительности насосных станции для модуля дренажного стока  $q_{нс}=1.0$  л/с га приведены на рис. 3 [2,5].

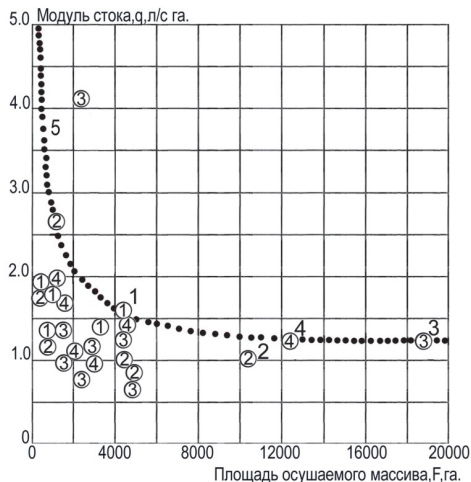


Рис. 3. Характеристики массивов Неманской низменности по отдельным станциям и массивам, объединенным системой соединительных каналов: 1-Юго-западный массив: ①-отдельные насосные станции, ①1-суммарный для массива; 2-Славский массив: ②-отдельные насосные станции, ②2-суммарный для массива; 3-Неманский массив: ③-отдельные насосные станции, ③3-суммарный для массива; 4-Тимирязевский массив: ④-отдельные насосные станции, ④4-суммарный для массива; 5-рассчитанные значения производительности насосных станции для модуля дренажного стока  $q_{нс}=1.00$  л/с га: ●●●.

Объединение отдельных массивов в единый гидрологический объект использует наличие зависимости модуля стока (откачки) от площади массива осушения. Для многоводного года эта зависимость имеет вид [4]:

$$q=3.1 \exp(-0,00064F), \quad (1)$$

где  $q$ -модуль стока, л/с га;

$F$ -площадь осушаемого массива, га.

Экспериментальные исследования показали, что объединение польдерных систем в один гидрологический объект, без перерасчета параметров каналов и дренажа систем, не приводит к существенному улучшению работы объединенной польдерной системы, массив которой осушается группой насосных станций, расположенных на контуре массива.

Анализ системных экспериментальных исследований работы польдерных систем показал наличие неравномерности осушения, обусловленного некорректным расчетом параметров систем, приведшим к несогласованной работе составляющих систему элементов. Для польдерной системы № 15 эта зависимость имеет вид  $i_{y26} = 6.7 \exp(-0.00026 L_{кан})$ .

Интеграл Дюамеля, используемый для расчета гидрографа стока в замыкающем створе водосбора, адаптированный для топологии польдерной системы имеет следующий вид:

$$W_{вл.пл.i} = q_{др.с.i} F_{др.с.i} \tau_i, \quad W_{вл.кан.k} = \sum_{i_k} W_{вл.пл.i_k}, \quad W_{вл.польд} = \sum_k W_{вл.кан.k} \quad (2)$$

где  $q_{др.с.i}$  – модуль стока, принятый для расчета дренажа, м/с;

$F_{др.с.i}$  – площадь единичной дренажной системы, м<sup>2</sup>;

$\tau_i$  – время добегания от единичной дренажной системы к створу насосной станции, с;

$i_k$  – множество номеров дренажных систем, подсоединенных к  $k$ -му каналу;

$W_{кан..i}$  – объемы добегания для отдельных каналов, м<sup>3</sup>;

$W_{кан.k}$  – объемы добегания для групп каналов, м<sup>3</sup>;

$W_{польд}$  – объемы добегания для польдерной системы в целом, м<sup>3</sup>.

Использование интеграла Дюамеля для расчета формирования стока на массиве польдерной системы вводит понятие характерного времени польдерной системы,  $t_{nc} = \tau_{max} = L_{max} / V_{max}$ . Характерное время польдерной системы,  $t_{nc}$ , определяет время снижения напоров на дренаже до горизонтов его заложения, определяя этим динамику работы и параметры дренажа.

Использование для расчета зависимости (2) предполагает физическую модель, схематизацию формирования стока, использующую представление о наличии непосредственной гидравлической связи между каждой из составляющих массив осушения дренажной системы со створом насосной станции. В этом случае в параметрах каналов должны быть учтены объемы добегания стока от каждой из дренажных систем к створу станции, рассчитанные для польдерной системы по зависимости (2). Результаты численных экспериментов показали, что учет в параметрах каналов объемов добегания стока, размещенных под горизонтами заложения дренажа, позволяет получить величину уклона кривой свободной поверхности воды в канале  $i_{кан} = 0.000004$  для канала длиной 15000 м, что можно признать приемлемым для практики проектирования [5].

Полученная при численном моделировании зависимость между площадью осушаемого массива ( $F$ ) и расстоянием между дренами ( $E$ ) для  $q_{др} = 1\text{л}/(\text{с}\cdot\text{га})$  и  $K_{\phi} = 1.5\text{ м}/\text{сут}$

$$E = 8 + 32 \exp(-F/1250), \quad (3)$$

показывает, что параметры всех элементов польдерной системы имеют "жесткую" взаимосвязь [4]. Зависимость (5) хорошо согласуется с соотношением  $t_{nc} = \tau_{max} = L_{max} / V_{max}$ , определяющим понятие характерное время польдерной системы. В этом случае расчет параметров дренажа польдерных систем должен проводиться по формулам нестационарной фильтрации:

$$B = 4[(L_{нд}^2 + \tau_p \cdot T/4\mu)^{0.5} - L_{нд}], \quad (4)$$

где  $L_{нд}$ -обобщенное фильтрационное сопротивление, по А. Мурашко,м;

$T$ - проводимость водоносного комплекса,  $\text{м}^2/\text{сут}$ ;

$\mu$ -коэффициент водоотдачи;

$\tau_p$ -параметр, учитывающий гидрологические условия работы дренажа (время стабилизации), сут.

Параметр  $\tau_p$  в формуле (4), время стабилизации, определяется подбором, с учетом закона снижения уровней воды в каналах. Из анализа экспериментальных данных работы и численных экспериментов следует, что

закон снижения уровней воды в каналах определяется параметром  $t_{nc}$ . В этом имеем  $\tau_p = t_{nc}$  и зависимость (4) может быть переписана для польдерных систем в виде:

$$B=4 [(L_{но}^2 + \tau_{nc} \cdot T / 4\mu)^{0,5} - L_{но}], \quad (5)$$

Таким образом, расчет параметров дренажа польдерных систем должен вестись по формулам нестационарной фильтрации, в частном случае, с использованием зависимости (5).

Варианты схематизации формирования стока с водосбора, каким является массив осушения польдерной системы, рассмотрены в [6,7,8]. В частности, схематизация водосбора Dooge J. предполагает его состоящим из площадных источников с линейного вида зависимостью расхода от напора и каналов, переносящих гидрограф стока в расчетный створ без изменения его характеристик. Схематизация von Asmuth J. R., et al. предполагает непосредственную связь составляющих водосбор площадных источников с расчетным створом.

Полученные данные системных экспериментальных исследований и проведенных численных экспериментов показывают, что только приведение параметров насосных станций к соответствию их суммарной производительности расчетным гидрологическим данным является только частью расчета параметров системы, обслуживаемой насосных станций, расположенных по контуру массива.

Из анализа возможности применения характерного времени польдерной системы  $t_{nc}$  в проектировании польдерных систем следует реализация очевидного инженерного решения о вводе расположения насосной станции внутри контура массива осушения. В этом случае достигается, в соответствии с зависимостью (2), увеличение расстояния между дренами. Одним из вариантов построения топологии польдерных систем является введение в контур массива насосных станций, обслуживающих отдельные поля севооборотов (схема «польдер в польдере» института «Загипроводхоз») и работающих на один магистральный канал. Очевидно, что применение подобной схемы построения

топологии системы позволит не только существенно увеличить качество управления водным режимом почв, но и технически обеспечить требования к водному режиму самых требовательных агрокультур.

*Заключение.* 1. Приведение параметров насосных станций к соответствию их суммарной производительности расчетным гидрологическим данным является только частью расчета параметров системы, обслуживаемой насосных станций, расположенных по контуру массива.

2. Вариантами построения топологии польдерных систем является введение в контур массива насосных станций, обслуживающих отдельные поля севооборотов (схема «польдер в польдере» института «Запгипроводхоз»), работающих на один магистральный канал и введение насосной станции внутрь осушаемого массива.



## ПРОБЛЕМЫ ПОДТОПЛЕНИЯ СЕЛИТЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*Б.С. Ксенофонтов, доктор технических наук, профессор,*

*Р.А. Таранов, старший преподаватель,*

*А.С. Козодаев, кандидат технических наук, доцент,*

*А.А. Воропаева, инженер, М.С. Виноградов, аспирант,*

*Е.В. Сенник, аспирант*

*ФГБОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА»,*

*г. Москва, Россия*

### Аннотация

В работе рассмотрены различные аспекты возможного влияния различных факторов на процессы подтопления селитебных территорий с оценкой возможных рисков. В результате анализа выявлены наиболее значимые факторы, влияющие на процесс подтопления, в том числе интенсивность выпадающих осадков, рельеф территории, структура грунтов, конструкция зданий, а также системы водоотвода поверхностного стока. По-новому предлагается оценивать риск подтопления таких территорий, а также перечень превентивных мероприятий, снижающих коэффициент риска подтопления этих территорий. Предлагается коэффициент опасности оценивать по величине интенсивности выпадающих осадков, причем наиболее опасным значениям соответствует месячная норма осадков.

Коэффициент уязвимости оценивается с помощью четырех факторов, в совокупности характеризующих селитебную территорию с точки зрения возможного подтопления. Вычисляемый коэффициент риска в этом случае зависит как от интенсивности выпадающих осадков, так и от особенностей рассматриваемой территории. Указанный подход позволяет в комплексе рассматривать мероприятия с точки зрения исключения подтопления территории в случае выпадения осадков с различной интенсивностью.

**Ключевые слова:** риск, селитебная территория, подтопление, ливень, оценка риска, дамба, интенсивность осадков, система водоотведения, структура грунта, коэффициент уязвимости, коэффициент опасности.

### Problems of flooding on residential areas

**Ksenofontov B.S., Taranov R.A., Kozodaev A.S., Voropaeva A.A., Vinogradov M.S., Senik E.V., BMSTU (Moscow)**

### The abstract

The paper discusses various aspects of the possible influence of various factors on the process of flooding of residential areas with the assessment of possible risks. The analysis identified the most significant factors influencing the process of

flooding, including the intensity of rainfall, topography territory, soil structure, the construction of buildings, as well as the drainage system of surface runoff. In a new way is proposed to estimate the risk of flooding of the territory, as well as a list of preventive measures that reduce the risk ratio of flooding these areas. It is proposed to estimate the hazard ratio for the largest intensity of precipitation, the most dangerous value corresponds to the monthly rainfall.

Vulnerability factor is evaluated using four factors, collectively characterize residential areas in terms of possible flooding. Calculated the risk ratio in this case depends on the intensity of rainfall and the characteristics of the territory in question. This approach allows to consider complex measures in terms of exceptions in case of flooding of the territory of the precipitation with varying intensity.

**Keywords:** risk, residential area, flooding, rainfall, risk assessment, the dam, precipitation intensity, drainage system, soil structure, vulnerability factor, hazard factor.

Проблемы подтопления селитебных территорий с каждым годом все более стали привлекать внимание и становятся весьма актуальными [1-2]. Важное значение при этом имеет правильная количественная оценка образующегося поверхностного стока.

Для количественной характеристики степени опасности подтопления селитебной территории используется безразмерный коэффициент опасности подтопления  $\lambda$ , который нами предлагается определять в долях от месячной нормы осадков  $\lambda_M$  и который нормируется в диапазоне от 0 до 1, т.е.  $0 \leq \lambda_M \leq 1$ .

Так же, как и коэффициент опасности, коэффициент уязвимости может быть нормирован, и его значения меняются в диапазоне от 0 до 1, т.е.  $0 \leq v_y \leq 1$ .

Определение коэффициента уязвимости отражает восприимчивость территории со всеми находящимися на ней объектами к опасному воздействию подтопления. Это приводит к необходимости оценки этой величины для территорий различного функционального назначения (селитебная, промышленная территории, зоны рекреации, дороги, линии электропередач и т.п.) с учетом различных факторов [3]. Рассмотрим факторы уязвимости для селитебной территории с присвоением соответствующих кодов, где код 1 –

низкая степень уязвимость, код 2 – средняя степень уязвимости, код 3 – высокая степень уязвимости.

1. Уровень рассматриваемой территории (рельеф):

- выше нуля<sup>2</sup> – код 1;
- нуль – код 2;
- ниже нуля – код 3.

2. Качество грунтов:

- песок - код 1;
- суглинок – код 2;
- глина – код 3.

3. Вид постройки:

- с подвалом – код 3;
- без подвала – код 2;
- на сваях – код 1.

4. Мощность системы водоотведения

- малая – код 3 (спроектирована согласно СНиП 2.04.03-85, но находится в неудовлетворительном состоянии);

- средняя – код 2 (спроектирована согласно СНиП 2.04.03-85);
- большая – код 1 (спроектирована с усиленным водоотведением).

Оценка коэффициента уязвимости селитебной территории с учетом рассматриваемых факторов представлена в табл. 1.

---

<sup>2</sup> За нуль принимается нулевая строительная отметка

Таблица 1 - Оценка коэффициента уязвимости  $v_y$  селитебной территории

Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$	Код	$v_y$
1111	0,00	1211	0,05	1311	0,15	2111	0,05	2211	0,15	2311	0,25	3111	0,15	3211	0,25	3311	0,40
1112	0,10	1212	0,15	1312	0,25	2112	0,30	2212	0,35	2312	0,45	3112	0,55	3212	0,60	3312	0,75
1113	0,20	1213	0,25	1313	0,35	2113	0,40	2213	0,45	2313	0,55	3113	0,65	3213	0,70	3313	0,85
1121	0,05	1221	0,10	1321	0,20	2121	0,15	2221	0,20	2321	0,40	3121	0,25	3221	0,30	3321	0,55
1122	0,15	1222	0,20	1322	0,30	2122	0,35	2222	0,40	2322	0,50	3122	0,60	3222	0,65	3322	0,75
1123	0,25	1223	0,30	1323	0,40	2123	0,45	2223	0,50	2323	0,60	3123	0,70	3223	0,75	3323	0,90
1131	0,10	1231	0,20	1331	0,30	2131	0,20	2231	0,30	2331	0,40	3131	0,30	3231	0,40	3331	0,60
1132	0,20	1232	0,30	1332	0,40	2132	0,40	2232	0,50	2332	0,60	3132	0,65	3232	0,75	3332	0,90
1133	0,40	1233	0,40	1333	0,50	2133	0,60	2233	0,60	2333	0,70	3133	0,85	3233	0,85	3333	1

Далее на основании полученных результатов рассчитывается коэффициент риска подтопления территории.

Коэффициент риска подтопления территории  $R_n$  определяется по формуле [3]

$$R_n = \frac{\sum_{i=1}^k V_{yi} \cdot \lambda_{Mi} \cdot S_i}{S_0}, \quad (1)$$

где  $V_{yi}$  - коэффициент уязвимости территории;

$\lambda_{Mi}$  - коэффициент опасности подтопления территории;

$S_0$  - площадь территории, для которой определяется коэффициент риска подтопления  $R_n$ ;

$S_i$  - непересекающихся между собой площади, на которые разбивается  $S_0$ , для которых оценены и известны коэффициенты опасности подтопления  $\lambda_{Mi}$  и уязвимости подтоплению  $V_{yi}$ .

Районирование территории по степени риска подтопления территорий приведено в табл. 2.

Таблица 2 – Районирование территории по степени риска подтопления территории

Малый риск	$R_n < 0,1$
Умеренный риск	$0,1 \leq R_n < 0,25$
Большой риск	$0,25 \leq R_n < 0,5$
Критическая ситуация	$R_n \geq 0,5$

Рассмотрим три примера применения данной методики расчета риска подтопления селитебной территории.

1. На территории площадью 1 га выпало в сутки 0,5 от месячной нормы осадков. Рассматриваемая территория расположена полностью выше

нулевой отметки. Грунт песчаный, постройки выполнены на сваях. Система водоотведения спроектирована с усиленным водоотведением.

Код данной территории 1111. Коэффициент опасности  $\lambda_m = 0,5$ ; коэффициент уязвимости территории  $V_y = 0,0$  (табл. 1).

Подставив данные в (1), получим

$$R_n = \frac{0,0 \cdot 0,5 \cdot 1}{1} = 0,0$$

Следовательно,  $R_n < 0,1$ , что соответствует малому риску подтопления данной территории (табл. 2).

2. На территории площадью 1 га выпало в сутки 0,5 от месячной нормы осадков. Рассматриваемая территория расположена на нулевой отметке. Грунт суглинок, постройки выполнены без подвальных помещений. Система водоотведения спроектирована согласно СНиП 2.04.03-85.

Код данной территории 2222. Коэффициент опасности  $\lambda_m = 0,5$ ; коэффициент уязвимости территории  $V_y = 0,4$  (табл. 1).

Подставив данные в (1), получим

$$R_n = \frac{0,4 \cdot 0,5 \cdot 1}{1} = 0,2$$

Следовательно,  $0,1 \leq R_n < 0,25$ , что соответствует умеренному риску подтопления данной территории (табл. 2).

3. На территории площадью 1 га выпало в сутки 0,5 от месячной нормы осадков. Рассматриваемая территория расположена полностью ниже нулевой отметки. Грунт глиняный, постройки выполнены с подвальными помещениями. Система водоотведения проектируется согласно СНиП 2.04.03-85, но находится в неудовлетворительном состоянии.

Код данной территории 3333. Коэффициент опасности  $\lambda_m = 0,5$ ; коэффициент уязвимости территории  $V_y = 1,0$  (табл. 1).

Подставив данные в (1), получим

$$R_n = \frac{1,0 \cdot 0,5 \cdot 1}{1} = 0,5$$

Следовательно,  $R_n \geq 0,5$ , что соответствует критической ситуации (табл. 2).

Для снижения коэффициента риска подтопления территории целесообразно провести ряд мероприятий.

### **Мероприятия по снижению риска**

Расположение жилой застройки на возвышенных местах позволяет избежать подтопления, а в критической ситуации и затопления. Анализ примеров возможной застройки в пониженных местах рельефа показывает на сложности не только в развитии рельефного ландшафта, но и на опасность обрушения построенных зданий [4].

Важнейшее значение для исключения подтопления селитебных территорий имеет структура грунтов. В случае суглинков и глин различной породы проблема естественного водоотвода затруднена, что приводит к повышенному риску подтопления территории.

В других случаях, в частности на песчаных грунтах, как правило, естественный водоотвод не затруднен, и риск подтопления минимален. Это должно учитываться при расчете расхода поверхностного стока.

Особое значение имеет конструкция зданий, в частности при наличии подвального или полуподвального помещения. Такие здания должны строиться на возвышенных местах. В случае размещения зданий на местах с пониженным рельефом здание необходимо строить на сваях.

Водоотвод с селитебных территорий необходимо рассчитывать при проектировании жилых микрорайонов и промышленных зон. Важнейшее значение при этом имеет определение расхода поверхностного стока. Имеющаяся в настоящее время методика [5] не учитывает максимального выпадения осадков в рассматриваемом районе и структуру грунтов. В этой связи нами был разработан новый подход к определению поверхностного стока с учетом отмеченных недостатков известной методики [6, 7].

Суть нового подхода сводится к следующему расчету.

Расход дождевых вод различной вероятности превышения с учетом максимальной интенсивности выпадения осадков и структуры почвогрунтов,  $Q_{др}, \frac{м^3}{с}$  определяется по формуле [6, 7]

$$Q_{др} = 16,7a_p\alpha_p F\varphi K_J K_\phi (1 - \lambda_{исп}) \quad (2)$$

где  $a_p$  - расчетная интенсивность осадков, соответствующая требуемой вероятности превышения (ВП) для расхода [6, 7];

$\alpha_p$  - расчетный коэффициент склонового стока [6, 7];

$F$  - водосборная площадь, км<sup>2</sup>;

$\varphi$  - коэффициент редукции максимального дождевого стока в зависимости от размеров водосборной площади [6, 7];

$K_J$  - коэффициент учета влияния крутизны водосборного бассейна [6, 7];

$K_\phi$  - коэффициент, учитывающий формулу водосборного бассейна [6, 7].

$\lambda_{исп}$  - коэффициент испарения.

Этот подход позволяет учесть отмеченные недостатки, что приводит к уточненному расходу, превышающему расчетный расход по известной методике примерно в 3 раза.

Указанные обстоятельства приводят к необходимости создания системы канализования поверхностного стока с повышенной мощностью.

В случае выпадения особо сильных осадков, в частности превышающих месячную норму в два и более раз, необходимы особые мероприятия по защите территории от подтопления: если позволяет возможность застройки, то строительство поверхностных водоотводов, а в случае отсутствия возможности – создание быстровозводимых дамб.

Таким образом, проведенный комплексный анализ превентивных мероприятий по защите территории от подтоплений и возможного затопления показывает на возможности их использования и эффективности защиты территории в чрезвычайных ситуациях.



**ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ  
ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
III И IV КЛАССОВ, ОТРАБОТАВШИХ УСТАНОВЛЕННЫЙ  
СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ**

***Ф.В. Матвеев, инженер - гидротехник***

*Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, г. Москва, Россия*

Статья посвящена определению количества гидросооружений, отработавших установленный срок эксплуатации, и которые внесены в Российский регистр гидротехнических сооружений (далее - Регистр). В результате анализа данных Регистра, автор впервые в практике обеспечения безопасности приводит статистические данные о количестве гидротехнических сооружений, отработавших установленный срок эксплуатации, их техническое состояние и основные причины повреждений.

The article is devoted to the determination of the number of hydraulic works, fulfilled the prescribed period of operation, and which are included in the Russian register of hydraulic structures (hereinafter - the Register). An analysis of the data of the Register, the author of the first time in the practice of security resulting statistics on the number of hydraulic structures, fulfilled the prescribed period of operation, their technical condition and the main causes of damage.

В целях решения задачи по продлению установленного срока службы грунтовых ГТС автором впервые произведен анализ [1] в части выявления гидроузлов, отработавших нормативный срок эксплуатации. Приведенная ниже статистика является результатом исследований, выполненных лично автором настоящей статьи.

По данным [1], Ростехнадзору поднадзорны 3994 комплекса гидросооружений, которые внесены в Регистр ГТС. При анализе данных [1] по состоянию на 2012 год было выявлено, что из 3994 комплексов ГТС 596 комплексов, состоящих из 1096 гидросооружений, отработали установленный срок эксплуатации (Рис. 1).

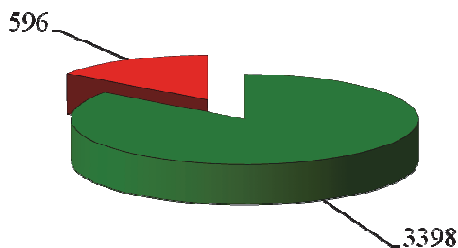


Рис. 1. Количественное соотношение гидросооружений, отработавших установленный срок эксплуатации, и сооружений, установленный срок эксплуатации которых не закончился.

Из выявленных 596 гидроузлов ко II классу относятся 19 комплексов, к III классу – 109 комплексов, к IV классу – 468 комплексов ГТС. Следует отметить, что выборка гидротехнических сооружений из [1] производилась по состоянию на 2012 год, и с каждым годом общее количество гидросооружений, отработавших установленный срок эксплуатации, будет только увеличиваться, что может привести как к локальным чрезвычайным ситуациям, так и к чрезвычайным ситуациям межрегионального характера (Рис. 2).

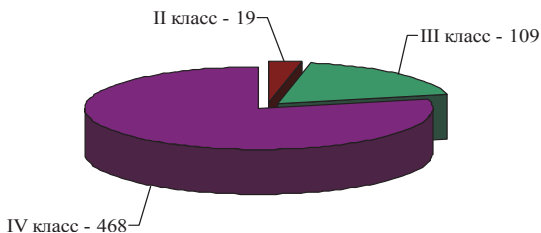


Рис. 2. Распределение комплексов ГТС, отработавших установленный срок эксплуатации, по классам.

В соответствии с данными [1], из выявленных 596 комплексов ГТС, отработавших установленный срок эксплуатации, 202 гидроузла находятся в собственности государства (федеральная, субъектная или муниципальная собственность), а остальные 394 комплекса гидротехнических сооружений являются частной собственностью.

Качественный уровень безопасности 596 комплексов сооружений, отработавших установленный срок эксплуатации, по данным [1], оценён следующим образом:

нормальный уровень – 269 гидроузлов (или 45% от общего количества);

пониженный уровень – 183 гидроузла (31%);

неудовлетворительный – 74 гидроузла (12%);

опасный уровень – 21 гидроузел (4%).

Кроме того, в [1] отсутствует информация об уровнях безопасности 49 (8%) комплексов ГТС (Рис. 3).

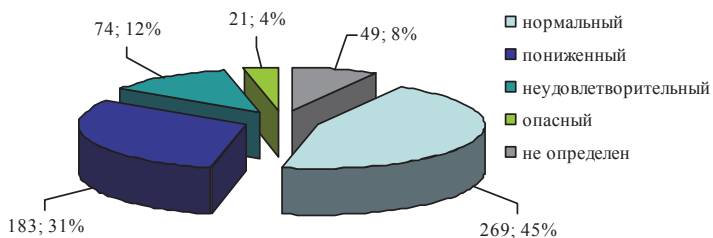


Рис. 3. Показатели качественного уровня безопасности гидротехнических сооружений, отработавших установленный срок эксплуатации.

Следует также отметить, что оценка уровня безопасности сооружений, указанных в [1], производилась 5-10 лет назад. Этот факт свидетельствует о том, что с течением времени качественная оценка уровня безопасности выявленных 596 гидроузлов, отработавших установленный срок эксплуатации, изменилась.

При анализе данных [1] по сооружениям, отработавшим установленный срок эксплуатации, были выявлены следующие основные отклонения от нормальной эксплуатации:

просадки гребней плотин, разрушение бетона в зонах переменного уровня, раскрытие деформационных швов в лотках водосброса, разрушение свай, разрушение ледозащиты, неудовлетворительное состояние металлоконструкций механического оборудования;

коррозия водоводов и насосных агрегатов; отсутствие нанесенных критических отметок на водомерных рейках;

отсутствие правил эксплуатации и графиков ремонтных работ на гидротехнических сооружениях, а также необходимой документации по эксплуатации сооружений (деклараций безопасности гидротехнических сооружений, в том числе утвержденных в установленном порядке, разрешений на эксплуатацию гидротехнических сооружений);

отсутствие непосредственно на территории объекта необходимого запаса строительных материалов, строительной техники на случай возникновения опасных повреждений и аварийных ситуаций.

Так, собственником ГТС (Минсельхоз России) не выделены средства для приобретения необходимых материально-технических средств и оборудования для обеспечения локализации повреждений и аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях, эксплуатируемых ФБГУ «Управление эксплуатации Кумских гидроузлов и Чограйского водохранилища».

Срок эксплуатации гидросооружений, отработавших установленный срок эксплуатации, можно разделить на три группы: первая группа - возраст сооружений колеблется от 50 до 69 лет; вторая группа - возраст сооружений колеблется от 70 до 100 лет; третья группа - возраст сооружений колеблется от 101 года и более. В соответствии с проведенным анализом Российского регистра ГТС к первой группе относится 401 комплекс, ко второй группе – 116 комплексов гидросооружений, к третьей группе 79 комплексов.

Учитывая важность безопасности гидротехнических сооружений, которая влияет на общую безопасность Российской Федерации, следует признать уровень безопасности выявленных 596 гидроузлов как опасный, так как исследования состояния (экспертиза) отработавших установленный срок эксплуатации комплексов гидротехнических сооружений не производились.

Повреждения и, как следствие, стремительное разрушение грунтовых гидросооружений, как правило, образуются в результате негативного

воздействия фильтрации и переливов воды через гребень сооружения [2, 3, 4, 5].

В то же время, грунтовые плотины устойчивы к волновым воздействиям и землетрясениям, но чаще всего повреждения, приводящие к аварии, образуются вследствие не предусмотренных проектом режимов эксплуатации, таких как быстрая сработка или наполнение водохранилища.

Нарушение устойчивости откосов грунтовых ГТС, как правило, происходит из-за ошибок при проектировании, строительстве и эксплуатации, таких как:

неучёт наличия в основаниях грунтовых гидросооружений линз со слабыми грунтами, которые не были выявлены при проведении проектных инженерно-геологических изысканий;

плохое качество производства строительных работ при возведении сооружения (недоуплотнение, переувлажнение, несоответствие проектным требованиям качества грунтового материала и т.д.);

непроектная эксплуатация грунтового ГТС (отсутствие службы эксплуатации).

Наиболее часто при эксплуатации грунтовых плотин наблюдаются повреждения в виде образования трещин в вертикальном и/или горизонтальном направлениях. Образование трещин происходит в результате неравномерной осадки тела сооружения или его основания.

Из практики обследования грунтовых плотин известно, что трещины, просадки и оползни чаще всего происходят на верховых откосах, в зонах повышенного насыщения грунтового материала водой.

Кроме перечисленных выше основных причин повреждений грунтовых ГТС существует наиболее распространенный процесс разрушения – суффозия (от лат. *suffossio* – подкапывание, подрывание). Суффозия на гидротехнических сооружениях может образовываться на разных жизненных циклах сооружений, в том числе в начале эксплуатации и по истечении установленного срока эксплуатации (длительной

эксплуатации). Суффозионные процессы при длительной эксплуатации грунтового гидросооружения возникают при ухудшении физико-механических свойств грунтовых материалов.

Следует также отметить, что в процессе длительной эксплуатации, приближающейся или превысившей установленный срок эксплуатации грунтового гидротехнического сооружения, наиболее часто наблюдается перелив воды через гребень в связи с понижением его отметки.

В состав гидроузлов, отработавших установленный срок эксплуатации, в большинстве случаев помимо грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов входят и всякого рода водопропускные ГТС (водовыпуски, водоспуски, водосбросы), которые также необходимо исследовать при экспертизе безопасности гидросооружений.

Нарушения в работе водопропускных гидротехнических сооружений происходят по причинам неработоспособности таких сооружений, повреждений, разрушений, а также из-за непроектных условий эксплуатации.

Исследуя опыт проектирования, строительства и эксплуатации ГТС следует выделить основные причины повреждений на водопропускных сооружениях:

несоответствие пропускной способности водопропускных гидротехнических сооружений расчётам проекта, плохая гидрологическая изученность района расположения таких сооружений, которая приводит к разности пропускной способности и притока к створу, прорывы вышерасположенных сооружений, в том числе схода оползней;

непроектный режим работы водопропускных ГТС (засорение сооружений, нарушение гидравлического режима работы);

заклинивание затворов водопропускных сооружений и неисправность подъемных механизмов;

кавитационное разрушение водопроводящих сооружений;

абразивная эрозия;

размывы водобойных частей нижнего бьефа, влияющие на безопасную эксплуатацию комплекса гидротехнических сооружений;

износ конструкций водопропускных сооружений в результате влияния температурного фактора (замораживание и оттаивание);

фильтрация на контакте грунтовой плотины и водосбросного сооружения.

Следует отметить, что перечисленные причины являются основными и могут проявляться как по отдельности, так и совместно. Нередко появление одной причины способствует появлению другой причины разрушения гидроузла, особенно отработавшего установленный срок эксплуатации.

## **ЭНЕРГОГАСЯЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ШАШЕЧНЫХ ГАСИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ПОТОКА ПРИ НАРУШЕНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Розанова Н.Н., кандидат технических наук, доцент*

*Бай Шубинь, магистр*

*ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ*

*УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА»,*

*г. Москва, Россия*

### **Аннотация**

Нарушение гидрологической безопасности приводит к необходимости пропуска нерасчётных расходов, создающих кавитационные условия в построенных средне- и высоконапорных водосбросных сооружениях. Даются рекомендации по оценке энергогасящей способности шашечных гасителей энергии потока с учётом стадии кавитации и назначению мероприятий, направленных на обеспечение проектных режимов работы нижнего бьефа водосброса.

### **Abstract**

Violation of the hydrological security leads to the need of exceeding of the designed spillway discharge which in turn creates cavitation conditions in the operational medium and high water head spillway structures. Recommendations are given for the assessment of dissipation ability of the block type hydraulic energy dissipaters taking into account cavitation level. Also recommendations are given for the measures aimed at ensuring of the design modes of the spillway downstream dissipation.

В последнее десятилетие в мире широко применяется термин “гидрологическая безопасность”, который относится к построенным и строящимся гидротехническим объектам, населению, общественным и промышленным объектам [1;2 и др.]. Существует много примеров гидроузлов, в которых приходится пересматривать принципиально конструкции водосбросных сооружений, так как они не обеспечивают требуемую пропускную способность, возросшую за счет увеличения стока и повышения класса капитальности гидротехнических сооружений. В соответствии с современными требованиями по гидрологической безопасности через створ



гидроузла требуется пропускать расход максимально возможного паводка  $Q_{PMF}$ . Повышение сбросных расходов приводит к появлению опасных явлений в водосбросах: кавитация, кавитационная эрозия, опасные динамические нагрузки и переходные режимы, значительные размывы, деформации нижнего бьефа и т.п. Изменение расчетных сбросных расходов в сторону их увеличения приводит к необходимости реконструкции элементов водопропускных сооружений или даже к решениям о строительстве дополнительных водосбросов. Например, дополнительные водосбросы приняты для Саяно-Шушенского, Плявинского (Латвия), Рижского (Латвия), Ириклинского, Краснодарского и других гидроузлов [3 и др.]. Примеров повышения классов ответственности гидроузлов много, например, Ириклинский на р. Урал, Новосибирский, Рижский, Волжский каскад, некоторые гидроузлы в Челябинской области и многие другие, расположенные в условиях плотной застройки территорий или повышенной ответственности. Учет проблемы гидрологической безопасности сталкивается с отклонениями фактического режима работы водопропускных сооружений гидроузла от установленными проектом режимов, в том числе эти отклонения связаны с изменениями инфраструктуры районов пойменных земель в нижнем бьефе. Например, в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла бытовая глубина реки Обь упала на 1.9 м, что привело к нарушению судоходства и условий гашения энергии потока за водосливной плотиной в пределах водобоя с шашечными гасителями энергии потока (образовался отогнанный гидравлический прыжок).

В практике гидротехнического строительства широкое применение в качестве гасителей энергии потока в нижнем бьефе водосбросов нашли шашечные гасители; они являются простыми конструкциями и оказывают на поток реактивное, диссипативное и распределительное выравнивающее действия. В результате реактивного воздействия гасителей затопление гидравлического прыжка происходит при меньших глубинах нижнего бьефа, что имеет большое практическое значение, особенно в случаях нарушений бытовых условий русла.

Анализ условий эксплуатации и причин повреждения или разрушения гасителей указывает на то, что чаще они оказывались следствием взаимодействия нескольких факторов: кавитации, динамического и вибрационного воздействия потока, дефектов конструкции и механического воздействия мусора. Известны случаи кавитационных повреждений шашечных гасителей и пирсов, в том числе гасителей Волжской ГЭС, Бонневиль, Норфолк, пирсов Новосибирской ГЭС и др. В современных условиях важно обеспечить соблюдение требований гидрологической безопасности и создать конструкции гасителей энергии, которые способны переносить прохождение высоких половодий и паводков без аварий и разрушений.

Пути повышения безопасности работы водопропускных сооружений, в том числе с гасителями энергии потока, заключаются в следующем: грамотное прогнозирование стока с учетом современных методов расчета; научный анализ гидравлических условий работы устройств нижнего бьефа и учет нежелательных явлений, возникающих при больших скоростях потока; недопущение нарушения гидрологической безопасности объекта; при невозможности нормальной эксплуатации существующего водосброса из-за снижения его пропускной способности следует выполнять реконструкцию сооружения для повышения пропускной способности или создание дополнительного водосброса; применение безэрозионных конструкций устройств нижнего бьефа, которые работают в условиях кавитации без образования кавитационной эрозии и не приводят к нарушению проектных сопряжений бьефов (Рисунок 1, [4]).

Принцип действия безэрозионного гасителя состоит в следующем: кавитационный факел, который срывается с боковых граней и верха гасителя замыкается в потоке, а не на его поверхности. Это достигается за счет отклонения граней на величину  $h_n \geq 0,015 v^2 / 2g$  (здесь скоростной напор от скорости набегания потока на гаситель энергии  $V_{\text{наб}}$ ). На водосбросе Шамхорского гидроузла применена безэрозионная форма гасителя энергии для первого ряда гасителей (Рисунок 1а).

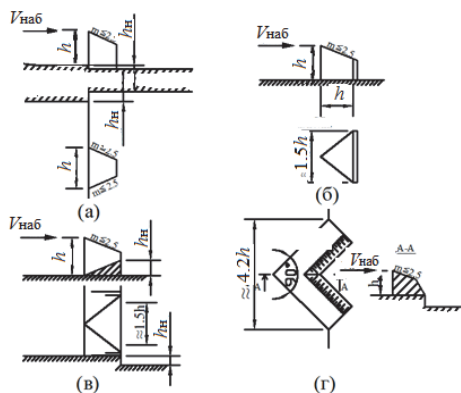


Рисунок 1. Некоторые виды безэрозионных гасителей энергии и растекателей потока ( $h_H \geq 0,015 v^2/2g$ ).

Несоблюдения условий гидрологической безопасности приводит к нерасчетным режимам работы водосброса, которые приводят к образованию кавитационных режимов работы гасителей не учтенных при проектировании, и поэтому вопрос о влиянии кавитации на реактивное воздействие гасителей энергии актуален и требует изучения.

Методика расчета энергогасящей способности гасителей энергии разработана и хорошо апробирована; однако, с учетом того, что на гасителях традиционных очертаний появляется кавитационная эрозия, а в нижнем бьефе нарушаются условия сопряжения потоков, поэтому стоит задача корректировки указанной методики с учетом кавитации.

Оценка энергогасящей способности (или эффективности гашения) гасителей энергии потока любых очертаний выполняется на основе уравнения совершенного гидравлического прыжка с гасителями энергии. Влияние реакции гасителей  $\sum R_{\text{гас}}$  иллюстрируется уравнением изменения количества движения для отсека жидкости, заключенного между сечениями 1-1 и 2-2 (Рисунок 2).

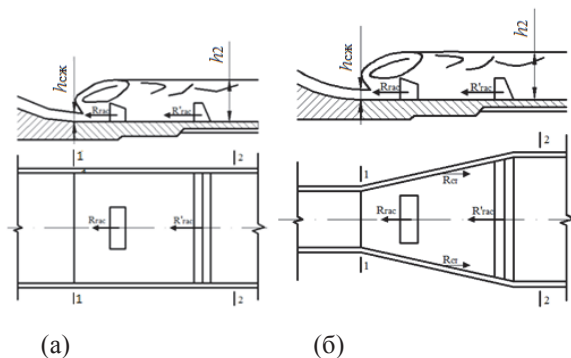


Рисунок 2. Схема к расчету сопряжения бьефов для призматического (а) и расширяющегося (б) водобоя.

Для призматического водобоя

$$\gamma\Pi(h_1) = \gamma\Pi(h_2) + \sum R_{\text{рас}} , \quad (1)$$

для расширяющегося водобоя

$$\gamma\Pi(h_1) + \sum R_{\text{ст}} = \gamma\Pi(h_2) + \sum R_{\text{рас}} , \quad (2)$$

где  $\gamma$  – удельный вес воды;  $\Pi(h_1)$  и  $\Pi(h_2)$  – прыжковые функции для начального (1-1) и конечного (2-2) сечений выделенного отсека жидкости  $\Pi(h_1) = \frac{\alpha_0 \cdot Q^2}{g \cdot \omega_1} + y_1 \cdot h_1$  и  $\Pi(h_2) = \frac{\alpha_0 \cdot Q^2}{g \cdot \omega_2} + y_2 \cdot h_2$ ;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – площади живых сечений перед и за прыжком;  $y_1$  и  $y_2$  – глубина погружения центра тяжести площадей  $\omega_1$  и  $\omega_2$ ;  $h_1$  ( $h_1 = h_{\text{сж}}$  – условия предельного гидравлического прыжка) и  $h_2$  – сопряженные глубины;  $\alpha_0 \approx 1$  – коэффициент Буссинеска;  $\sum R_{\text{ст}}$  – сумма проекций реакций боковых стенок (и наклонного водобоя при его наличии);  $\sum R_{\text{рас}}$  – сумма проекций реакций гасителей любого вида (стенки, пороги, растекатели и проч.).

Влияние суммарной реакции гасителей  $\sum R_{\text{рас}}$  на глубину в нижнем бьефе  $h_2$  иллюстрируется уравнениями (1) и (2).

Реакция гасителя энергии определяется по формуле:

$$R_{\text{гас}} = \gamma \omega C_x \frac{V_{\text{наб}}^2}{2g},$$

где  $\omega$  – площадь миделева сечения гасителя;  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления гасителя;  $V_{\text{наб}}$  – скорость набегания потока на гаситель;  $g$  – ускорение свободного падения.

Коэффициент  $C_x$  зависит от формы гасителя, его положения относительно сжатого сечения, от степени затопления гидравлического прыжка, чисел Фруда, Рейнольдса и некоторых других факторов. Для основных типов гасителей энергии определены экспериментально значения коэффициентов сопротивлений, которые приводятся в справочной литературе. Известно, что коэффициент сопротивления обтекаемого тела связан с его очертанием и улучшение условий обтекания ведет к его уменьшению. Очертание гасителей энергии влияет и на изменение критического параметра кавитации  $K_{кр}$ . Зависимость  $C_0 = f(K_{кр})$  для различных типов гасителей указывает на определенную связь между рассматриваемыми параметрами (здесь  $C_0 = C_x$ ) [5].

Изменение жестких границ ребер гасителей за счет их разрушения при кавитации приводит к изменению обтекания гасителя, а следовательно, к снижению значений коэффициентов сопротивлений  $C_x = C_0$  и энергогасящей способности, что очевидно из-за уменьшения площади миделева сечения и ряда особенностей их гидродинамического обтекания.

При обтекании конусов, дисков, шара, насадков и цилиндров наблюдается резкое уменьшение значений их коэффициентов лобового сопротивления [4 и др.]. Аналогичный вывод на основе теоретических и экспериментальных исследований получен для гасителей энергии и представлен в виде зависимости

$$\frac{C_{\text{кав}}}{C_0} = 0,45 + 0,55\beta, \quad (3)$$

где  $\beta = \frac{K}{K_{кр}}$  – стадия кавитации, здесь  $K$  и  $K_{кр}$  – соответственной расчетный и критический параметры кавитации [4... 6].

Формулой (3) рекомендуется пользоваться при оценке энергогасящей способности гасителей энергии, работающих в условиях кавитации. Данная зависимость является единственной рекомендацией, позволяющей учесть снижение эффективности гашения энергии при кавитации за счёт уменьшения значений коэффициентов лобового сопротивления гасителей, что теоретически обосновано в [4]. Значительное уменьшение коэффициента лобового сопротивления гасителя энергии  $C_{кав}$  происходит при развившейся стадии кавитации и суперкавитации, что особенно опасно для работы водосброса, так как появится отогнанный гидравлический прыжок, увеличение размывов и гидродинамических характеристик потока на элементы водобоя. При сборе действующих нагрузок на гаситель энергии для прочностных расчетов следует учитывать увеличение мгновенной пульсационной составляющей нагрузки в кавитационных режимах работы [4].

Снижение коэффициента лобового сопротивления гасителя при кавитации приводит к нарушению равенства прыжковых функций. Для восстановления требуемого гашения энергии следует увеличить площадь миделева сечения гасителя энергии. На Рисунке 3 представлено требуемое изменение размеров гасителя первого ряда Шамхорского гидроузла: рекомендуется увеличить его высоту до 3,1 м (проектная высота гасителя  $h_r = 2$  м).

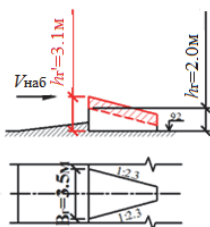
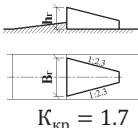
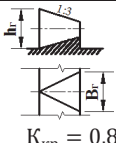


Рисунок 3. Требуемые размеры безэрозионного гасителя водосброса Шамхорского гидроузла при учете кавитации.

В таблице 4.1 приведены расчётные рекомендации с учётом зависимости (3) по изменению размеров гасителей энергии при условии создания предельного гидравлического прыжка по уравнению (1) для водосброса Шамخورского гидроузла.

Таблица 4.1  
Результаты расчетов размеров гасителей энергии при кавитации

N	Форма гасителя	$\beta_{эр}$	$C_x$	$C_{x,кав}$	$B_{г, м}$	$h_{г, м}$	$h'_{г, м}$	$\Delta h_{г, м}$	Вывод
	 $K_{кр} = 1,7$	,35	,95	,61	,5	,0	,2	,2	Увеличены размеры гасителя по сравнению с проектным вариантом
	 $K_{кр} = 0,8$	,65	,62	,50	,5	,0	,7	,7	Увеличены размеры гасителя по сравнению с проектным вариантом

Из приведенных расчетов следует, что для обеспечения сопряжения бьефов в условиях кавитации в виде предельного гидравлического прыжка, следует принимать размеры гасителей с учетом их сопротивлений при кавитации (размеры увеличиваются по сравнению с бескавитационными условиями их работы).

Для условий Шамخورского гидроузла выполнена оценка энергогасящей способности гасителей энергии первого ряда, работающих при кавитации, для расчётного расхода и  $Q_{PMF}$  для современных условий. Получена разница суммарной реакции гасителей между расчетным и поверочным режимами работы водосброса:  $\Delta R = \sum R'_{I,рас} - \sum R_{I,рас} = 12180 - 6615 = 5565$  кН.

Следовательно, дефицит реакции гасителей первого ряда составляет  $\sum R_{I,рас} \% =$

$\frac{\Delta R}{\sum R'_{I,рас}} = 45.7\%$ , что очень существенно и это окажет негативное влияние на

работу водосброса.

## Выводы

При нарушении гидрологической безопасности в период эксплуатации на элементах водосброса, в частности, на гасителях энергии потока шашечного типа, происходит развитие кавитации, приводящее к кавитационной эрозии, возрастанию пульсационных характеристик потока и к снижению их энергогасящей способности.

Для обеспечения сопряжения бьефов в условиях кавитации в виде предельного гидравлического прыжка, следует принимать размеры гасителей с учетом их коэффициентов лобового сопротивления  $C_{\text{кав}}$  при кавитации, при этом размеры увеличиваются по сравнению с бескавитационными условиями, так как  $C_{\text{кав}}$  уменьшаются в соответствии с зависимостью  $\frac{C_{\text{кав}}}{C_0} = 0,45 + 0,55\beta$  и в этих условиях рекомендуется выполнять наращивание гасителей энергии.

При нарушении условий гидрологической безопасности, которые приводят к снижению эффективности гашения энергии потока до 50% и более наращивание гасителей является нерациональной мерой (требуются слишком большие размеры гасителей); в этом случае рекомендуется применять дополнительный водосброс.



## ИСКУССТВЕННАЯ ШЕРОХОВАТОСТЬ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЯЧЕЙСТЫХ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА СКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ

*Шарков В.П. , кандидат технических наук, доцент  
ФБГОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА»  
г. Москва, Россия*

### Аннотация

Работа посвящена способу повышения устойчивости гидротехнических сооружений ячеистой конструкции на скальных основаниях за счет увеличения степени зависания грунта- заполнителя на стенках путем создания на них искусственной шероховатости в виде выступов, установленных по внутреннему периметру ячеек.

Для решения поставленной задачи автор провел опыты на модели одиночной ячейки , заполняемой грунтом. Степень зависания грунта замерялась устройством, разработанным автором.

В результате исследований выявлен характер зависимостей степени зависания от глубины установки выступа и его ширины, а также обоснованы их причины.

На основе опытов предложена методика расчета степени зависания грунта на стенках ячейки с выступами.

Ключевые слова: опыт, ячейка, грунт-заполнитель, модель, зависание грунта, выступ, методика расчета.

Как известно, несущая способность гидротехнических сооружений сдвигу, кроме вертикальных нагрузок, определяется коэффициентом трения в подошве. В сооружениях ячеистой конструкции на скальном основании эти коэффициенты под каркасом и заполнителем могут быть различными, причем под каркасом -существенно большими (до 2-х раз) [1]. По этой причине для повышения устойчивости таких сооружений сдвигу при меньшем его весе, определяемом в основном весом заполнителя, целесообразно обеспечение большего “зависания” грунта на стенках каркаса.

Цель настоящей работы - изучение влияния на зависание грунта в ячейках повышенной шероховатости стен, создаваемой в ячейке специально. Дело и в том, что в реальных сооружениях уступы на стенах ячеек в виде уширений

фундамента -башмаков нередко встречаются, а оценки их влияния на распределение нагрузок не проводилось.

В исследованиях использовалась одноячейковая модель с размерами в плане 25х25см при высоте 82,5 см. Шероховатость стенок в опытах изменялась от гладкой при оклейке их полиэтиленовой пленкой (коэффициент контактного трения  $f=0,425$ ) и шероховатой при наклейке наждачной бумаги ( $f=0,735$  и  $0,765$  при различной плотности грунта) до повышенной, создаваемой в ячейке периметральными выступами в виде полок. Ячейка в опытах заполнялась сухим песком в рыхлом (плотность  $\rho=1,38 \text{ кН/м}^3$ ) и уплотненном состоянии ( $\rho=1,52 \text{ кН/м}^3$ ). Всего было проведено 10 серий опытов при заполнении ячейки на полную высоту. Регистрация степени зависания (отношение ‘висящего’ на стенках веса грунта к полному его весу в ячейке) проводилось специальным устройством, разработанным совместно с Б.М. Бахтиным в МГУП [2].

В исследованиях решались две основные задачи: в первой определялось местоположения выступа по высоте модели, при котором обеспечивалось максимальное ‘зависание’; а во второй-определялся эффективный размер (ширина) выступа.

Для решения первой задачи проведена серия опытов с выступами шириной 3 см, которые в начале приклеивались к каркасу на высоте 9 см (от днища), а затем переставлялись на высоту 21 см.

Результаты этой серии (осредненных из 3...6 опытов) приведены в табл. 1

Как видно из таблицы, установка выступов во всех случаях повышает степень зависания.

В опытах с неуплотненным грунтом и гладкими стенками это повышение составляет 12,8 и 14,5%, в случае шероховатых – 7,4%. В опытах с уплотненным грунтом повышение соответственно составляет 12,2% и 11,5% - для гладких и 4.2% - для шероховатых стен.

Среднее значение приращения степени зависания для гладких стен (серии 1...3 и 6...8) после установки выступа на отметке 9,0 см составляет

13,0%, а выступа на отметке 21,0 см - 12,5%, что практически одинаково. Это может объяснять равенством вертикального давления грунта на этих отметках, вызванным асимптотической формой эпюры вертикального давления грунта в ячейке. Поскольку приращение исследуемого параметра непосредственно связано с пригрузкой выступа вертикальным давлением, то видимо, эти давления на отметках 9,0 и 21,0см близки, что обыкновенно и наблюдается в ячейках при большой глубине заполнителя.

Таблица 1

.Степень зависания грунта на стенах при установке выступа на разной высоте

Серия опытов	Отметка выступа, см	Коэффициент трения грунта у стен, f	Степень зависания, m (%)	Приращение степени зависания $\Delta=m-m_i$ , (%)
<b>Грунт неуплотненный</b>				
1	82,5 (без выступа)	0,425	58,6= m <sub>0</sub>	0
2	21,0	-“-	71,4	12,8
3	9,0	-“-	73,1	14,5
4	82,5 (без выступа)	0,735	68,7= m <sub>0</sub>	-
5	21,0	-“-	76,1	7,4
<b>Грунт уплотненный</b>				
6	82,5(без выступа)	0,425	58,7= m <sub>0</sub>	0
7	21,0	-“-	70,9	12,2
8	9,0	-“-	70,2	11,5
9	82,5 (без выступа)	0,765	73,2= m <sub>0</sub>	-
10	21,0	-“-	77,4	4,2

На рис 1 представлены характерные графики зависимости степени зависания от высотного положения выступа, построенные на по табличным данным.

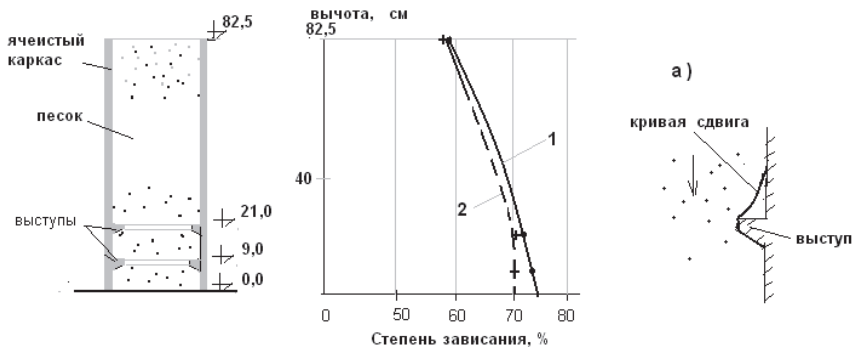


Рис. 1. Зависимость степени зависания грунта от высотного положения выступа в ячейке с гладкими стенками : 1 и 2- для насыпного и уплотненного грунта.

а) – схема поверхности сдвига у выступа при осадках грунта.

Для шероховатых стен средняя величина приращения степени зависания от установки выступа на отметке 21,0 см, как следует из таблицы (серии 4...5 и 9...10), составляет 5,8%, что заметно ниже, чем для стен гладких (12,5-13%). Такое различие можно объяснить тем, что при гладких стенках ячейки коэффициент контактного трения в области выступа возрастает. Известно [3], что при осадках грунта (под действием пригрузки вышележащих слоев в процессе заполнения ячейки или фактора времени) поверхность сдвига, формирующаяся в области выступа, проходит через его край (см. рис. 1-а). Выше выступа и ниже его при этом эта поверхность внедряется в массив грунта, где наблюдается трение грунта по грунту и у выступа возникает область некоторой высоты с повышенным коэффициентом трения. При шероховатых стенках ячейки коэффициенты трения у стен и в массиве грунта одинаковы, и потому отмеченного выше явления наблюдаться не может.

Таким, образом, можно заключить, что уплотнение грунта на величину приращения степени зависания при использовании выступа влияет незначительно. Аналогичный по характеру результат получен в работе [4].

Больший эффект для зависания дает установка выступа на гладких стенках ячейки. При этом эффективность от установки выступов на этих двух низких отметках практически одинакова.

Отметим, что в реальных сооружениях (устои Днепродзержинской, Киевской, Каневской ГЭС[4]) выступы в виде монолитных фундаментов выполнены на отметках (0,22 ... 0,68) а, что вписывается в исследуемый диапазон.

С учетом полученных выше данных дальнейшие опыты проводились с выступами разной ширины ( $b=3,0\text{см}$ ;  $4,5\text{см}$  и  $5,5\text{см}$ ), устанавливаемых на отметке  $9,0\text{см}$ . В таблице 3 для условий неуплотненного грунта и гладких стенок ячейки представлены результаты этих исследований.

При составлении таблицы имелось в виду, что случай  $b=0$  соответствует опытам без выступа, а при полном перекрытии ячейки выступом, т.е. при его ширине  $b=0,5a$  под выступом имеется объем грунта высотой около  $8\text{см}$  и весом  $6,9\text{ кг}$ , составляющий  $0,097$  часть от общего веса грунта и практически не принимающего участия в зависании и потому в этом случае, как показали оценки, максимальное значение степени зависания составляет  $0,91$ .

Таблица 3.

Степень зависания в ячейке с выступами на отметке  $9,0\text{см}$   
при их различной ширине

Ширина выступа, $b$ , см	0	0,12a	0,18a	0,22a	0,5a
Степень зависания, $m_i$	$0,586 = m_0$	0,731	0,762	0,840	0,911
Приращение, $\Delta m = m_i - m_0$	0	0,145	0,176	0,254	$0,325 = \Delta_{\text{max}}$
Относительное приращение параметра $m$ , $\Delta / \Delta_{\text{max}}$	0	0,45	0,54	0,78	1,0
Относительная площадь выступа, $A_B / A_{\text{яч}}$	0	0,42	0,59	0,69	1,0

По данным таблицы в относительных величинах на рис. 2 построен график зависимости степени зависания грунта в ячейке с шириной выступа.

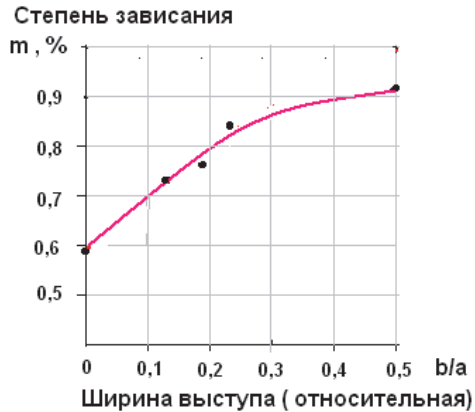


Рис. 2. Зависимость степени зависания от ширины выступа

Проанализируем полученные результаты. Как видно из рис.2 степень зависания с ростом ширины выступа возрастает, что свидетельствует об увеличении нагрузки грунта, передаваемой через выступ на стены. Характер графика криволинейный, и это, видимо, может объясняться квадратичной зависимостью нарастания площади выступов, имеющей вид;  $A_v=4b(a-b)$ .

Для проверки этой гипотезы в табл. 3 приведены дополнительные данные: в строке 3 - приращение степени зависания для каждой ширины выступа, полученные как разность опытных данных с выступом и без него  $\Delta m = m_i - m_0$ ; в строке 4—относительные значения приращения степени зависания, полученные как отношение приращения к его максимальной величине при ширине  $b = 0,5a$  (полном перекрытии площади ячейки)  $\Delta / \Delta_{\max}$ ; в строке 5—площади, занимаемые выступами, по отношению к полной площади ячейки  $A_v/A_{\text{яч}}$ .

На основе строк 4 и 5 табл. 3 на рис. 3.построены графики. Как они показывают, приращение степени зависания (кривая 1) и площадь выступов (кривая 2) возрастают с ростом ширины выступа практически по одинаковой закономерности, что подтверждает высказанную выше гипотезу.

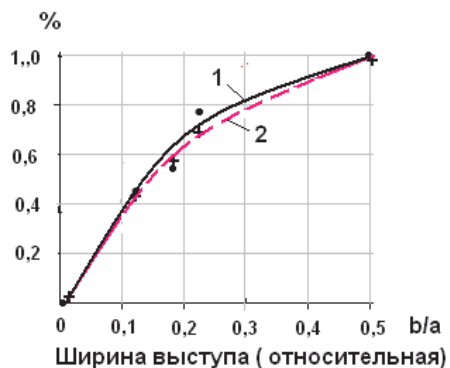


Рис. 3. График связи приращения степени зависания и площади периметральных выступов в ячейке (на отметке 9 см) с ростом из ширины

1- График приращения степени зависания; 2- график нарастания площади выступов.

Как видно из рис. 2, наиболее интенсивный прирост степени зависания за счет устройства выступов наблюдается в пределах ширины  $b=(0...0,2)a$ , где график практически прямолинеен. Например, выступы шириной  $b = 0,1a$ , близкие по ширине к башмаком реальных сооружений увеличивают параметр  $m$  на 11 %. При больших размерах выступа интенсивность нарастания графика уменьшается. Поскольку стоимость выступа напрямую связана с его шириной, то в качестве предварительных рекомендаций можно, видимо, считать эффективной ширину до  $b=(0,2...0,25)a$ .

Для выступов, выполненных в виде консолей (как в наших опытах) актуален вопрос их прочности. Для её оценки необходимо знать вертикальную нагрузку, воспринимаемую ими. Для решения этого вопроса можно подойти следующим образом : определить вертикальное давление грунта на выступ с учетом глубины его установки по формуле Янсена  $p = (\gamma R / k) ( 1 - \exp ( - k H / R )$  . При этом неизвестный в ней коэффициент  $k = \tau / p$  ( где  $\tau = \gamma R$ ,  $p$ -вертикальное давление) можно определить из опытов без выступов при полной высоте 82,5см. Например, для насыпного грунта при гладких стенках

при степени зависания  $m = 0,586$  (табл. 1) вертикальное давление грунта в основании  $p = 1,38 \times 82,5 (1 - 0,586) = 47,13 \text{ г/см}^2$ , а коэффициент  $k = 1,38 \times 6,25 / 47,1 = 0,18$ . (Отметим, что для шероховатых стен в опытах без выступов получен коэффициент  $k = 0,24$ . Эти величины согласуются с данными Алипова В.В. Вятских НВ, Латышенкова АМ, полученными в опытах. [5]).

При  $k = 0,18$  на вертикальное давление выступ, установленный на глубине 73,5 см равно  $p = (1,38 \times 6,25 / 0,18) (1 - \text{едр} (-0,18 \times 73,5 / 6,25)) = 42,1 \text{ г/см}^2$ .

Дополнительный анализ показывает, что вертикальное давление грунта-заполнителя непосредственно на основание при расположении выступа в виде консоли (на некоторой высоте от подошвы сооружения) можно определять по формуле Янсена, считая, что сдвиг грунта происходит по периметру отверстия, оставшегося в ячейке между выступами и по вертикальным поверхностям, то есть выше выступа имеет место сдвиг массива грунта по грунту (а не по стенам). В расчетах при этом следует принимать гидравлический радиус, соответствующий размерам указанного отверстия, а коэффициент  $k$ , соответствующий условиям трения грунта грунту (или по шероховатым стенкам). Для условий опыта с выступами гидравлический радиус отверстия может определяться как  $R = (a - 2b) / 4$ , а коэффициент принимать равным  $k = 0,24$ .

В качестве примера ниже приведена таблица, в которой представлены данные по степени зависания- расчетные и опытные, полученные для ячейки с выступами различной ширины. Расчетные величины степени зависания получены на основе формулы  $m = 1 - p / \gamma H$ , где вертикальное давление определено по формуле Янсена с параметром  $k = 0,24$  при высоте заполнителя  $H = 82,5$  см и высоте - над выступами  $h = 73,5$  см..

Как видно из таблицы, расчетные данные при ширине выступов  $b = 0,12a$  и  $b = 0,18a$  практически совпадают с опытными, при использовании высоты 73,5 см, а при ширине  $b = 0,22a$  опытные данные ближе к расчетным



при высоте 82,5 см. Отличие в последнем случае - около 2,5 %, а при высоте 73,5 см расхождение - 5 %, что также можно считать допустимым для опытов с грунтом. Отметим, что во всех случаях здесь расхождение опытных и расчетных данных не более 5% .

Таблица 4

Степень зависания по предлагаемой расчетной методике и в опытах

Ширина выступа,	Степень зависания		
	расчет при $h = 73,5\text{см}$	расчет при $H = 82,4\text{см}$	Опытные данные
0,12а	0,735	0,763	0,73
0,18а	0,77	0,80	0,76
0,22а	0,80	0,82	0,84

На наш взгляд при наличии в ячейках консольных выступов для определения степени зависания можно рекомендовать к использованию в расчетах высоту над выступами ( а не полную), что упрощает расчеты, а также создает запас при расчете устойчивости ячеистого сооружения сдвигу, уменьшая искомую величину.

В заключение отметим, что по расчетной методике СНиП [6 ] вертикальное давление на выступ будет больше, поскольку здесь использована меньшая величина коэффициента  $k_{III}$  для песков  $k = 0,1$ . Например. по этой методике для условий опыта с насыпным грунтом давление на выступ в 1,4 раза больше полученного в опытах .

### **Выводы:**

1. Устройство периметральных выступов в ячейке повышает степень зависания грунта. При этом наиболее эффективно их устройство в нижней части каркаса.

2. В пределах высоты установки выступов в реальных сооружениях их эффективность для повышения зависания при равной ширине практически одинакова; при этом она почти не зависит от степени уплотнения грунта-заполнителя.

3. Степень зависания с увеличением размера выступа возрастает по криволинейной зависимости, что в основном связано с нарастанием площади выступов.

4. В качестве экономически эффективной можно считать ширину выступа в пределах  $b=(0...0,2-0,25)a$ .

5. Для расчета степени зависания в ячейке с выступами можно использовать формулу Янсена с предпосылкой, что сдвиг грунта происходит в массиве грунта по вертикальным плоскостям над отверстием (между выступами), где реализуется трение грунта – по грунту и использовать соответствующие параметры.

5. Вертикальное давление грунта на выступ может быть определено по формуле Янсена при значении параметра  $K_{янс}=0,18-0,24$  ( для гладких и шероховатых стен соответственно)..

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ВЛИЯНИЯ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДИ  
СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**Б.Т.Курбанов, кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
Н.М.Джураев, кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник**

**Хусамитдинов А.С., Ёдгоров Ш.И., Курбанов Б.Б.**

Национальный центр геодезии и картографии Госкомземгеодезкадастра,  
г.Ташкент, Республика Узбекистан.

**Аннотация**

В статье проанализированы возможности применения ГИС в исследованиях влияния инженерно-геологических условий площади строительства гидротехнических сооружений расположенных в высокосейсмичной (8 и 9 балльной) зоне на изменение сейсмического эффекта с целью разработки инженерно-геологических схематических карт и схематических карт сейсмического микрорайонирования.

Все разработанные картографические материалы получены на базе применения ГИС и GNSS-технологий.

Учет инженерно-геологических условий при выборе площадей для строительства водохранилищ и их эксплуатации, а также разработанные схематические инженерно-геологические карты и карты сейсмического микрорайонирования будут способствовать обеспечению стойкостигидротехнических сооружения и их долговечность, а также геоэкологическую безопасность окружающей геологической среды

**Summary:**

In article possibilities of application of GIS in researches of influence of engineering-geological conditions of the area of construction of the hydraulic engineering constructions located in high-seismic (8 and 9 mark) a zone on change of seismic effect for the purpose of development of engineering-geological schematic cards and schematic cards of seismic microdivision into districts are analysed.

All developed cartographic materials are received on the basis of application of GIS and GNSS technologies.

The accounting of engineering-geological conditions at a choice of the areas for construction of reservoirs and their operation, and also the developed schematic engineering-geological cards and cards of seismic microdivision into districts will promote providing the stoykostigidrotekhnicheskikh of a construction and their durability, and also geoecological safety of the surrounding geological environment

Использование конкурентоспособной инновационной техники и технологии, отвечающей мировым стандартам, является важнейшим и ключевым вопросом сегодняшнего дня. Поэтому геоинформационная техника и технология (GIS, GNSS и др.) используются во многих отраслях народного хозяйства, а также по всем направлениям геологии. Гидротехнические сооружения (ГТС) представляют собой совокупность инженерных сооружений, которые обеспечивают сбор и регулирование водных ресурсов для нужд электроэнергетики, мелиорации и других отраслей. Проектирование и строительство новых ГТС является одним из сложных задач инженеру-геологу в отличие от проектирования объектов градостроительного комплекса. ГТС отличается от сооружений объектов промышленно - гражданского строительства своими размерами (длина >1км, высота >50-100м, объем >50млн.м<sup>3</sup>). Поэтому, влияние ГТС на геологическую среду очень высокое. Большая геометрическая величина ГТС, длина сейсмических волн, несинхронность волн в основании плотины, по бортам и в центре водохранилища являются причиной разных колебаний. Это является дополнительной угрозой устойчивости плотины и создает дополнительную опасность для окружающей среды. При выборе места строительства ГТС наряду с другими факторами факторы инженерно-геологических условий учитываются в первую очередь. К ним относятся такие компоненты инженерно-геологических условий как: рельеф местности, особенности геолого-тектонического строения, геолого-литологическое строение местности, состав, состояние и физико-механические свойства грунтов развитых на территории строительства, а также имеющие место природные и инженерно-геологические процессы и явления на участке. Учитывая инженерно-геологические условия при выборе площадей для строительства водохранилищ можно обеспечить стойкость сооружения и долговечность, а также геоэкологическую безопасность окружающей геологической среды [1-4]. На практике инженерно-геологическое обоснование проектирования водохранилищ проводится в несколько стадий. На первой стадии

проектирования выбирается 2 или 3 перспективных площадей для строительства водохранилища, сопоставляется сейсмический риск районов и выбирается самый благоприятный с точки зрения сейсмического риска территория и оценивается экономическая целесообразность строительства ГТС на данном месте. На этой же стадии ведется оценка инженерно-геологических условий с использованием ГИС. На выбранной площади начинается стадия технического проектирования. Наряду с комплексом геолого-геофизических исследований ведутся инженерно-геологические исследования и для сейсмического микрорайонирования (СМР), создается инженерно-геологическая основа (ИГО) СМР. Такие виды работ были проведены в прошлом, но без использования GNSS . Например, специалистами Института сейсмологии АН РУз и НЦГК разработаны карты инженерно-геологической основы СМР для многих водохранилищ в масштабе 1:10000. Произведена оценка сейсмической опасности на основе современных информационных технологий, где приводится инженерно-геологическая карта с использованием ГИС [5].

Для построения карт ИГО проводятся инженерно-геологические исследования. Изучаются условия формирования инженерно-геологических факторов, таких как рельеф площади водохранилища, геолого-тектоническое строение, условия основания дамбы и бортов склонов, состав, свойства и физико-геологические процессы и явления в бассейне и в окрестностях территории строительства водохранилищ, а также определяется масштаб. Проведение ряда работ в ходе создания карт с использованием вышеперечисленных материалов с точки зрения инженерно-геологических и инженерно-сейсмологических исследований с помощью ГИС можно разделить более точно и быстро на «благоприятные», «неблагоприятные» и «средние» инженерно-геологические условия площади исследований. Наряду с этим, в случае возникновения ожидаемых разрушительных землетрясений, на площади можно заранее выделить места возможной активизации динамических процессов, их размеры и формы в плане. Необходимо отметить, что работы по

составлению инженерно-геологической основы для СМР должны опережать другие комплексы работ.

В разрабатываемой карте типизации инженерно-геологических условий с относительно однотипными грунтовыми условиями оценивается сила землетрясения способом инженерно-геологической аналогии. С помощью этой карты составляется план инженерно-геофизических полевых работ, как сейсмометрические, сейсморазведочные точки исследования и линии профилей. По всем проведенным полевым работам результаты измерений с помощью GNSS наносятся на карту. В дальнейшем разрабатывается электронная карта на основе программного комплекса ArcGIS. Созданная электронная карта инженерно-геологических условий даст возможность вести мониторинг инженерно-геологических условий на территории строительства водохранилища до строительства, после строительства и в период его эксплуатации ГТС. Для этого проводятся периодические наблюдения, результаты которых фиксируются на электронной карте. Кроме того, для специалистов смежных отраслей (геологи, геофизики, топографы и др.) данные ГИС и GNSS дают большую точность и помогает обеспечить качественное выполнение работ. Разработанная база данных также может быть использована специалистами других отраслей, что позволит им получить более точные результаты с использованием методов трехмерного моделирования и сэкономить время и средства на реализацию поставленных задач.

Необходимо создание информационной индустрии с мощной инфраструктурой, отвечающей указанным требованиям. Необходимо создание интегрированной информационной системы с развитой инфраструктурой. Такая информационная инфраструктура, базирующаяся на современных информационных технологиях, реализуется в виде интегрированных геоинформационных систем (ГИС) [5-7] .

В то же время эффективное использование интегрированных ГИС невозможно без использования научных разработок и подходов к решению поставленных проблем. Это, прежде всего опыт разработки различных

автоматизированных картографических систем, использование разработок в области территориального планирования, методов создания оценочных и синтетических карт с использованием материалов дистанционного зондирования и современных компьютерных методов их обработки, разработки цифровых и электронных карт, систем управления базами данных и др.

Основное отличие ГИС от АСУ, САД и СУБД заключается в том, что ГИС работает одновременно как с графической информацией, так и семантической информацией. При этом графическая информация как правило представляет собой цифровые картографические материалы. ГИС работает с пространственно-распределенными данными, такими как цифровые карты, материалы дистанционного зондирования Земли, материалы, полученные с помощью спутниковых систем глобального позиционирования GNSS, а также статистических и других материалов, представленных в семантической форме.

Остановимся кратко на основных блоках и узлах, которые необходимы при разработке автоматизированной геоинформационной системы.

При разработке структуры базы данных семантической информации и ее ведении решаются также следующие задачи:

- возможность установления и поддержания связи между объектами картографической и записями семантической БД;
- ввод и корректировка информации;
- ведение классификаторов и справочников, включая документирование готовых классификаторов и справочников;
- возможность обращения к классификаторам и справочникам из процедур ведения БД семантической информации и картографической базы данных.
- обеспечение при необходимости защиты информации от несанкционированного доступа.

Картографическая информация отражает местоположение и конфигурацию тех учетных единиц, для которых картографическая привязка целесообразна (участки территории, «линейные» участки коммуникаций,

«точечные объекты»), и представляется совокупностью электронных карт (планов), на которых в надлежащих масштабах изображена территория всего объекта или отдельных его частей.

При проектировании, разработке и ведении картографической базы данных решаются следующие задачи:

- обеспечение возможности ввода данных из различных источников: с дигитайзера (при необходимости разработки цифровой кадастровой карты с аналоговых картматериалов на жесткой основе), отсканированной картографической информации, с экрана дисплея, клавиатуры, систем обработки изображений и др;

- регистрация и автоматическая корректировка ошибок;
- наличие развитых интерактивных средств графического редактирования;
- возможность работы с растровой подложкой;
- автоматическое формирование топологической структуры и др.

Блок формирования и вывода кадастровых, отчетных, аналитических и презентационных материалов выполняет следующие основные функции:

- формирование и вывод таблично-текстовых документов;
- формирование и вывод карт и схем и др;

Конкретный способ связи между информацией БД , картографической информацией и материалами дистанционного зондирования Земли определяется используемым для ведения лесного кадастра программным обеспечением. Способы связи между информацией БД , картографической информацией и материалами дистанционного зондирования Земли грамотно решены в среде ArcGIS. Как показал анализ мирового рынка геоинформационных продуктов, на сегодняшний день ArcGIS является наиболее подходящим программным комплексом для создания и ведения автоматизированных систем. Это программное обеспечение сочетает в себе развитый интерфейс ведения картографической базы данных в сочетании с семантической базой.

По этой причине Госкомземгеодезикадастр РУз, которому было поручено создание и ведение автоматизированной Единой системы государственных



кадастров (ЕГСГК) закупил более 100 лицензий на программное обеспечение ArcGIS. Лицензии закуплены с разной степенью использования программного обеспечения. По этой причине данный проект разрабатывался в среде ArcGIS и в данной работе преимущественное внимание уделяется использованию именно этого программного обеспечения.

ArcGIS — семейство программных продуктов американской компании ESRI, одного из лидеров мирового рынка геоинформационных систем. ArcGIS построена на основе технологий COM, .NET, Java...

Нами используется система ArcGIS, которая наиболее подходит на данный момент для решения поставленных задач. Последующие версии ArcGIS совместимы с предыдущими, что позволяет эффективно использовать созданные ранее цифровые карты. Также есть возможность экспорта файлов в другие пакеты прикладных программ, например, Панорама, АВТОКАД, CorelDraw, MapInfo и др. В качестве примера на рис.1 приведена Схематическая инженерно-геологическая карта Гисаракского водохранилища

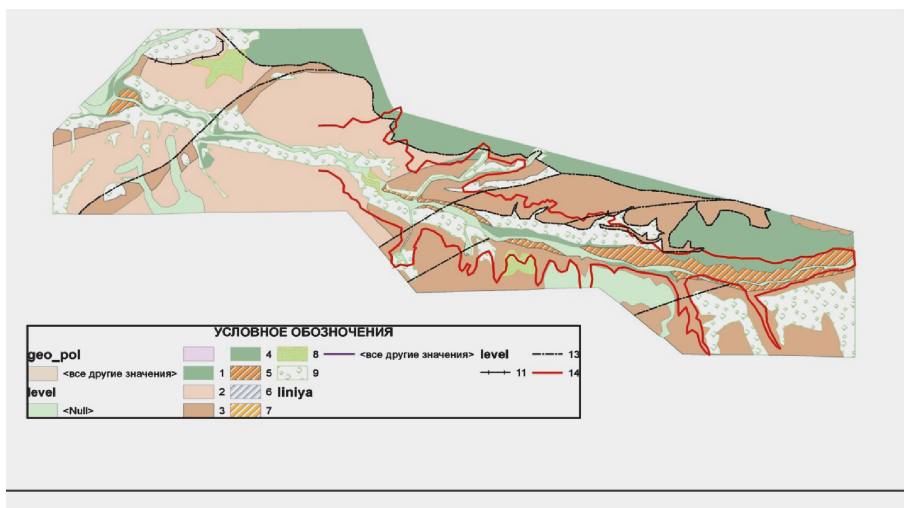



Рис. 1 Схематическая инженерно-геологическая карта Гисаракского водохранилища

Реляционная база данных разрабатывалась на основе ранее изученных и полученных нами статистических материалов в формате \*.mdb Microsoft Access. Реляционная база данных и в настоящее время постоянно обновляется и пополняется.

Реляционная база данных, в основе которой лежит атрибутивная алфавитно-цифровая информация разработана в среде Access

Как отмечалось выше, способы связи между реляционной БД, картографической информацией и материалами дистанционного зондирования Земли грамотно решены в среде ArcGIS. Все указанные в отчете цифровые карты-схемы инженерно-геологических условий и сейсмического микрорайонирования разработаны в среде ArcGIS. На рис. 2 приведен фрагмент инженерно-геологической схематической карты Гиссаракского водохранилища с подгруппенной базой данных атрибутивной информации.



Группа пород <sup>а</sup>	8. Связные. Супеси, суглинки, отл. IV- надпойм. террасы залегают на галечниках <sup>а</sup>
Генезис и возраст <sup>а</sup>	алп(Q) <sup>1-2</sup> <sup>а</sup>
Мощность М, м <sup>а</sup>	2-13 <sup>а</sup>
Уровень грунтовых вод Н, м <sup>а</sup>	9-10 <sup>а</sup>
Объемный вес: г/см <sup>3</sup> <sup>а</sup>	1,57 <sup>а</sup>
Объемный вес скелета, г/см <sup>3</sup> <sup>а</sup>	1,40 <sup>а</sup>
Удельный вес, г/см <sup>3</sup> <sup>а</sup>	2,70 <sup>а</sup>
Пористость л, % <sup>а</sup>	49,0 <sup>а</sup>
Водопоглощение, % <sup>а</sup>	7 <sup>а</sup>
Естественная влажность, % <sup>а</sup>	14,2 <sup>а</sup>
Макс. молекулярная влагоёмкость, мм <sup>а</sup>	13,8 <sup>а</sup>
Предел текучести <sup>а</sup>	29 <sup>а</sup>
Предел пластичности <sup>а</sup>	20 <sup>а</sup>
Число пластичности <sup>а</sup>	8 <sup>а</sup>
Содержание фракции: %песчаник: >0,05-мм <sup>а</sup>	8 <sup>а</sup>
Содержание фракции: %пылеватая: 0,05-0,005 мм <sup>а</sup>	74 <sup>а</sup>
Содержание фракции: %глинистая: <0,005мм <sup>а</sup>	18 <sup>а</sup>
Кэф. неоднородности <sup>а</sup>	5,0 <sup>а</sup>

Рис. 2. Фрагмент инженерно-геологической схематической карты Гиссаракского водохранилища с подгруппенной базой данных атрибутивной информации

Таким образом проанализированы возможности применения ГИС в исследованиях влияния инженерно-геологических условий площади

строительства гидротехнических сооружений расположенных в высокосейсмичной (8 и 9 балльной) зоне на изменение сейсмического эффекта с целью разработки инженерно-геологических схематических карт и схематических карт сейсмического микрорайонирования

Все разработанные картографические материалы получены на базе применения ГИС и Все разработанные картографические материалы получены на базе применения ГИС и GNSS-технологий.

Учет инженерно-геологические условия при выборе площадей для строительства водохранилищ и их эксплуатации, а также разработанные схематические карты сейсмического микрорайонирования будут способствовать обеспечению стойкостигидротехнических сооружения и их долговечность, а также геоэкологическую безопасность окружающей геологической среды

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ  
ИЗМЕНЕНИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ТЕРРИТОРИИ ЧАРТАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ДО И ПОСЛЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС F ТЕХНОЛОГИЙ И GPS**

**Н.М.Джураев**, кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник

**Б.Т.Курбанов**, кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

**Хусамитдинов А.С., Ёдгоров Ш.И., Курбанов Б.Б.**

Национальный центр геодезии и картографии Госкомземгеодезкадастра,  
г.Ташкент, Республика Узбекистан.

**Аннотация**

**В статье продемонстрировано, что после наращивания плотины ещё на 10м процесс переработки берегов водохранилища повторяется, и протекает интенсивнее, по сравнению с нынешним. Использование GPS и GIS технологий позволяет оперативно разработать необходимые актуальные и прогнозные карты процессов и явлений, а также произвести мониторинг опасных процессов и явлений на территории водохранилищ.**

**Summary:**

In article it is shown that after building of a dam for 10m process of processing of coast of a reservoir repeats, and proceeds more intensively, in comparison with the present. Use of GPS and GIS technologies allows to develop quickly necessary actual and expected cards of processes and the phenomena, and also to make monitoring of dangerous processes and the phenomena in the territory of reservoirs.

Устойчивость гидротехнических во многом зависит от правильного выбора местоположения и особенности инженерно-сейсмогеологических условий площади строительства и характера и интенсивности изменения этих условий во времени в период строительства и после длительной эксплуатации. Известно, что с момента проведения полевых исследований, на выбранной территории для проектирования и строительства происходят, хотя и незначительные, изменения природного рельефа в связи с прокладкой временных дорог, прокладкой горных выработок и др., а в процессе строительства изменения условий становятся масштабнее [1]. В период после строительства, особенно в период длительной эксплуатации

происходит резкое изменение инженерно-сейсмогеологических и геоэкологических условий по сравнению с периодом, предшествующим строительству. Это вызвано тем, что гидротехнические сооружения (ГТС) представляет собой совокупность инженерных сооружений, которые обеспечивают сбор и регулирование водных ресурсов для нужд электроэнергетики, мелиорации и др. отраслей [2,3]. Проектирование и строительство новых ГТС является одним из сложных задач инженерной геологии и инженерной сейсмологии в отличие от проектирования градостроительного комплекса. ГТС отличается от сооружений объектов промышленно - гражданского строительства своими размерами (длина  $>1$ км, высота  $>50-100$ м, объем  $>50$ млн.м<sup>3</sup>). Поэтому, влияние ГТС на геологическую среду очень высокое. Большая геометрическая величина ГТС, длина сейсмических волн, несинхронность волн в основании плотины, по бортам и в центре водохранилища являются причиной разных колебаний. И это является дополнительной угрозой устойчивости плотины и создает опасность для окружающей среды. При выборе места строительства ГТС наряду с другими факторами факторы инженерно-геологических условий учитываются в первую очередь. К ним относятся такие компоненты инженерно-геологических условий как: рельеф местности, особенности геолого-тектонического строения, геолого-литологическое строение местности, состав, состояние и физико-механические свойства грунтов развитых на территории строительства, а также имеющие место природные и инженерно-геологические процессы и явления на участке. Учитывая инженерно-геологические условия при выборе площадей для строительства водохранилищ можно обеспечить стойкость сооружения и долговечность, а также геоэкологическую безопасность окружающей геологической среды. Такие изменения можно наблюдать и на не крупных водохранилищах таких как Чартакское (с проектным объемом  $W=50$  млн.м<sup>3</sup>, высотой  $H=45$ м), Гиссаракское ( $W=200$  млн.м<sup>3</sup>,  $H=140$ м) водохранилищ и др. Эти водохранилища расположены в высокосейсмичной зоне, где могут происходить 8 балльные (Гиссаракское) и 9 балльные (Чартакское водохранилище) землетрясения. Остановившись на Чартакском водохранилище, мы произвели сравнение инженерно-

сейсмогеологических условий площади строительства до строительства и после за более чем 40 летний период эксплуатации.

Чартакское водохранилище находится в бассейне р. Чартак, которое расположено в пределах предгорной части Северной части Ферганской долины, где наряду с мягким, сглаженным гипсометрическим профилем поверхности отмечается расчлененность склонов долин сетью суходолов, логов и оврагов. Основная водная артерия района – река Чартак с саями. Она является левым ответвлением р. Падшааты и берет начало около сел. Заркет. Река Подшаата вытекает из ледника Кенгтура, расположенного на юго-восточных склонах Чаткальского хребта на высоте около 3700м. Река Чартак пересекает адыры на протяжении около 40км. В задырной зоне поток формируется за счет выклинивания подземных вод. Затем на участке пересечения адыра расход реки увеличивается и в предгорной равнине, вновь разбирается на орошение. По данным Наманганского облводхоза (1973г, май) дебит р. Чартак на створе проектируемой плотины составляет  $3,71\text{м}^3$ .

В тектоническом отношении Чартакское водохранилище находится в полосе антиклинальных поднятий неоген-четвертичного, а возможно и более раннего возраста, маркирующих зону крупных нарушений палеозойского фундамента. Эта зона может быть идентифицирована с зоной крупного разлома, имеющего все признаки краевого (Синицын, 1960), или так называемой флексурно-разрывной зоной (Рыжков, 1951; Ибрагимов, 1970). Участок расположения плотины находится севернее наиболее напряженных нарушений южной части зоны (Наманганской антиклинали) и западнее наиболее сложно построенного и активно развивающегося восточной части этой зоны. Можно предположить, сеймотектонические условия Чартакской плотины относительно благоприятны.

Рельеф района расположения Чартакского водохранилища относится к низкому-адырному, а широкое русло р. Чартак – к подгорно-долинному ярусу. Для него характерны основные морфометрические признаки ферганских адыров – широкое развитие сухих плоскодонных долин со слабо террасированными склонами; хорошая моделировка литологических разновидностей пород и

выраженность их в рельефе; преобладание мелкоструйного делювиального смыва как главного склоноформирующего фактора; хорошая сохранность морфологического уровня; широкое распространение галечниковых днищ русел и конусов выноса в сочетании с участками резкого расчленения, свидетельствующих о значительной роли сильных процессов в рельефообразовании района.

Грунтовые воды в четвертичных отложениях оказывают значительное влияние на инженерно-сейсмогеологические условия территории. Они формируются преимущественно за счет поверхностных вод. На площади исследования до строительства плотины залегали преимущественно галечники и редко покрывающие лессовые суглинки. Глубина их залегания уменьшается от борта долин к руслу реки. Залегали они на глубине от 2-5м (на второй террасе) до 16-20м и более (на склонах долины). Режимы подземных вод в террасовых отложениях тесно были связаны с режимом поверхностного стока р. Чартак и её притоков.

После строительства водохранилища в пределах изучаемой площади происходили изменения физико-механические и сейсмические свойства грунтов, вызванные обводнением, подъемом уровня подземных вод, а также по периферии чаще водохранилища происходили процессы переработки берегов водохранилища. Процессы переработки берегов водохранилища очень сильно развиваются на равнинных и слабонаклонных территориях и сопровождаются множеством склоновых процессов и явлений (абразия, подмыв склонов, обрушение, оползни и др.) [2,3].

В нашем примере рассмотренные процессы на территории Чартакского водохранилища незначительного масштаба и изучены с точки зрения методического характера для качественной оценки изменений инженерно-геологических условий после длительной эксплуатации водохранилища. Предварительно, в период проектирования водохранилища, располагая данными исследований по инженерно-геологическим условиям площади, нами ориентировочно были определены места возможного проявления переработки берегов и ширина зоны по берегам водоёма. Проведенные весной 2013 года исследования с применением инженерно-геологических маршрутных наблюдений

на базе ГИС-технологий и GPS позволили нам сравнить насколько соответствует прогнозное определение переработки берегов с фактическим. Были построены цифровые карты и применены материалы космических съемок на исследуемую территорию с применением комплекса программных продуктов ArcGIS [4] (рис.1,2). Берега водохранилища в основном сложены супесчано-суглинистыми грунтами и они легко подвергаются переработки. Наблюдения показывают что, на левом берегу мало подвержены к переработке, чем предполагали, на правом берегу, и на оборот, больше чем ожидали. Высота обрывов на правом берегу от 1,5÷3м, на правом берегу очень маленькие, от 0,5 до 1,5м.

Кроме этих процессов вокруг чаши водохранилища наблюдается подъем уровня грунтовых вод до отметки менее 4м в лессовых грунтах, обводнение грунтов ниже плотины и наблюдается слабое просачивание фильтрационных вод. В результате длительной эксплуатации водохранилищ (более 30лет) происходило переработки берегов и поступление воды с повышенным содержанием илистых материалов во время паводков происходило накоплении материалов в чаше водохранилища в большом количестве, и выделенные для этих случаев «мёртвый объём» заполнено. Кроме того со стороны правого притока р. Чартак, по русле Карамуртсай, при переброске воды (из Карамуртского водохранилища) во время паводков происходят эрозийно-суффозионные процессы, которые свое очередь увеличивают наносы в чаше водохранилища . Это приводит к уменьшению полезного объёма и к различным трудностям при нормальной эксплуатации водохранилища. С целью увеличения полезного объема водохранилища предусмотрен проект наращивание высоты плотины на 10м, соответственно это приводит к увеличению объема и площади чаши водохранилища. После наращивания плотины повторяется почти те же процессы, которые происходили во время строительства и заполнения воды в водохранилище, но иного масштаба. Изучение инженерно-геологических условий местности, нам позволило предварительно, выделить зоны возможной переработки берегов водохранилища после подъема воды на новой отметки. Эта зона выделены по берегам водохранилища пунктирными линиями.



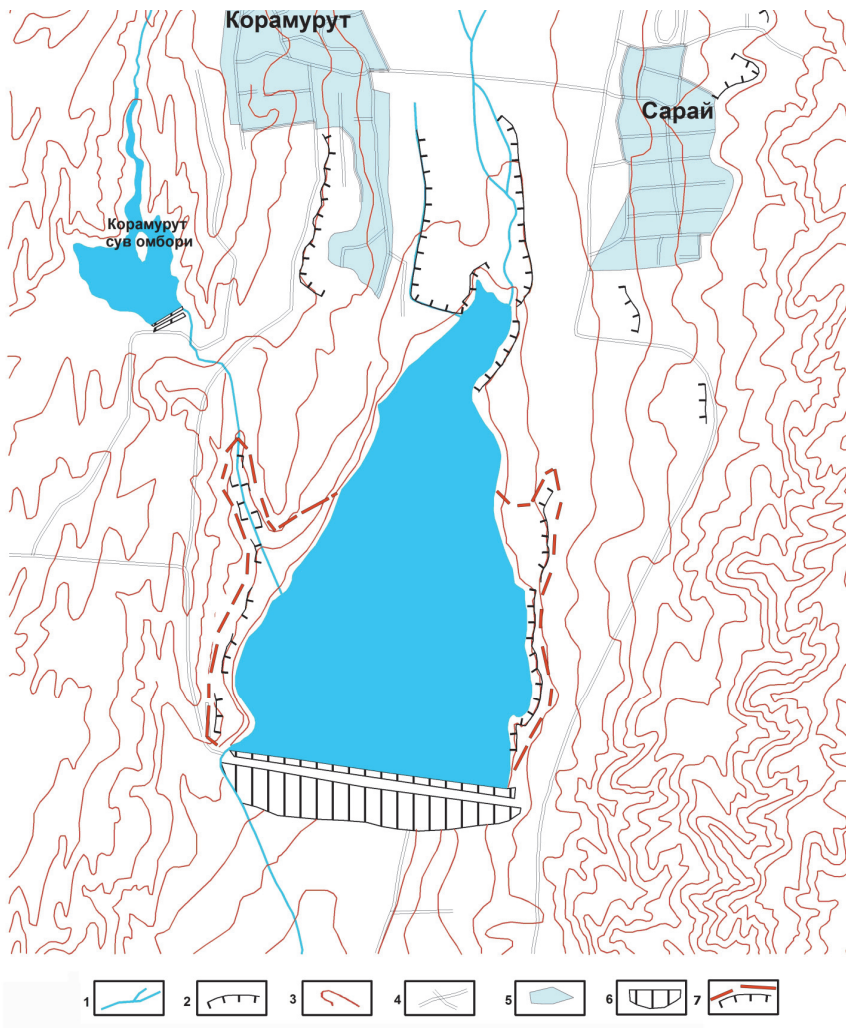


Рис. 1.Схема расположения Чартаковского водохранилища и чаща заполнения водохранилища весной 2013г.

1- русло р. Чартак и ее притоки. 2- обрывы на берегах реки и уступы переработки берегов водохранилища в период высокого стояния уровня воды в водохранилища; 3- топоизогипсы; 4- дороги; 5- чаща водохранилищ Чартаковского и Карамуртского); 6- тело плотины; 7-площади подверженные к переработки берегов водохранилища.

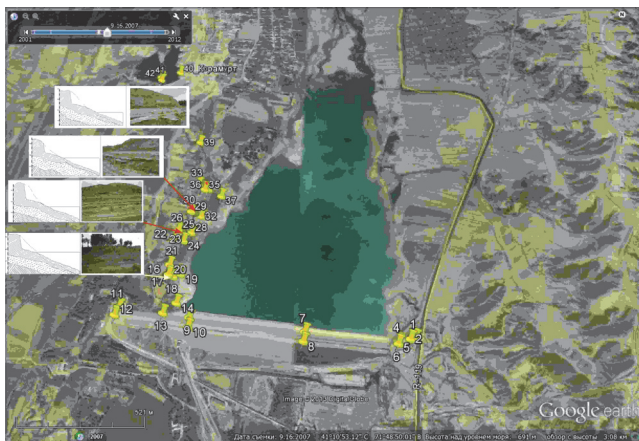


Рис. 2. Космический снимок Чартаковского водохранилищ и точек, маршрутных инженерно-геологических наблюдений с применением GPS (май 2013г).

1-1÷42 – точки наблюдения; 2-А – схематический геологический разрез с указанием элемента переработки берегов; 3-Б – Фотография места наблюдения; 4-▼UBB – уровень воды в водохранилище.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

-период после строительства и длительной эксплуатации водохранилищ приводит к изменениям инженерно-геологических условий территории, связанным в основном с изменением высоты столба воды и объема водохранилища: подъем уровня грунтовых вод, подтопление площади, переработки берегов водохранилища, заиление чаши водохранилища;

-сравнение площади переработки берегов водохранилище в настоящем времени с прогнозными, показывают, что они в целом близки;

-после наращивания плотины ещё на 10м процесс переработки берегов водохранилища повторяется, и протекает интенсивнее, по сравнению с нынешним;

-использование GPS и GIS технологии позволяет оперативно составить необходимой карты и позволяет прогнозных карт процессов и явлений, а также произвести мониторинг опасных процессов и явлений на территории водохранилища.

## ИННОВАЦИОННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ ВОДНОГО ПОТОКА

**В.А. Фартуков**, кандидат технических наук, доцент  
ЗАО «Бюро сервиса и эксплуатации» BSM, г. Москва, Россия  
**М.В. Земляникова**, кандидат технических наук, профессор  
ФГОУ ВПО РГАУ-МСХ имени К.А. Тимирязева г. Москва, Россия

Настоящая работа посвящена применению инновационных технологий для проведения гидродинамических исследований различных режимов течения воды в нижнем бьефе гидротехнических сооружений.

Целью работы является определение неустановившегося колебательного режима течения в нижнем бьефе гидротехнических сооружений.

Результаты решений ориентированы на определение параметров водного потока для последующего сравнения с расчетными величинами, полученными аналитическим методом.

This work deals with the application of innovative technologies for hydrodynamic studies of different water flow regimes downstream of hydraulic structures.

The aim of this work is the determination of the unsteady oscillatory flow regime downstream of hydraulic structures.

The results of the solutions focus on determining the parameters of the water flow for comparison with the calculated values obtained by the analytical method.

Наличие различных режимов течения водного потока их форм и существования, исследуется с давних времен, однако и в настоящее время этот вопрос остается актуальным. Актуальность вопроса обуславливается снижением стоимости производства работ при строительстве (ремонте, восстановлении) различных водопропускных сооружений, а также повышении их надежности. Поэтому исследование физики протекающего процесса структуры водного потока, находящегося в гидродинамических условиях, крайне важно и необходимо. В публикациях ряда авторов, например [1,2,7], отмечалось наличие в открытых водных потоках колебаний скорости и расхода с характерными периодами  $T = 1/5 \dots 1/30$  Гц [2]. Одновременно в этих

работах [1,2] приведен анализ уравнений одномерной гидравлической идеализации, в результате которого доказано существование колебательного решения уравнений и получено выражение для определения периода колебаний:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot C \cdot \sqrt{R} / g \cdot \sqrt{(I - i_0)}$$

где:  $T$  - период колебаний, сек;  $C$  - коэффициент Шези,  $m^{0.5}/c$ ;  $R$  - гидравлический радиус, м;  $I$  - уклон водной поверхности;  $i_0$  - уклон дна.

В проведенных нами теоретических исследованиях, а так же в исследованиях и публикаций других авторов, было установлено, что в случае установившегося режима поступления расхода воды в нижний бьеф в области прыжка всегда будет иметь место неустановившийся колебательный режим течения, который сопровождается волнами с характерной амплитудой и длиной.

Неустановившийся колебательный режим течения и уравнение сопряженных глубин имеют место только в случае увеличения периода временного сглаживания. Этот колебательный режим порожден трением на границе жидкость-омываемая твердая поверхность. В зоне прыжка, как и во всех других случаях отрывных течений, имеет место макротурбулентность с характерным временным масштабом  $T_m$ , которое больше временного масштаба  $T_n$ , отвечающего обычному уравнению турбулентности без отрывных течений. Полученное нами нелинейное дифференциальное уравнение показывает, что энергия рассеивается при больших амплитудах и генерируется при малых, при этом образуются предельные циклы, которые колеблются около состояния, при котором приток и диссипация энергии сбалансированы [3,4].

$$\left[ \frac{d^2}{dt^2} \zeta - \mu^2 \cdot \left[ 4 \cdot \frac{\zeta \cdot \left( \frac{d}{dt} \zeta \right)^2}{9} \right] - 5 \cdot \frac{\zeta^2}{36} + \frac{\zeta}{18} - \mu \cdot \frac{3}{2} \right] \cdot 4 \cdot \frac{(h_{kp})^2}{3 \cdot \left( \frac{d}{dt} \zeta \right)} + \mu \cdot \left[ \frac{\zeta}{3} + 4 \cdot \left( \frac{d}{dt} \zeta \right) \right] = 0$$

Наличие таких предельных циклов приводит к образованию бифуркаций векторных полей в структуре течения воды для случая прыжкового сопряжения бьефов гидротехнических сооружений.

В целях проверки правильности постановки задачи и полученных результатов аналитических исследований была разработана и собрана экспериментальная установка.

Решение этой задачи осуществляется путем проведения исследований физической модели гасителя энергии водного потока (водобойный колодец) в нижнем бьефе гидротехнического сооружения с применением измерительного комплекса.

В основе измерительного комплекса лежит принцип взаимодействия приборов: измерительных модулей, преобразователей и датчиков, объединенных системой прямой и обратной взаимосвязями (рис.1).

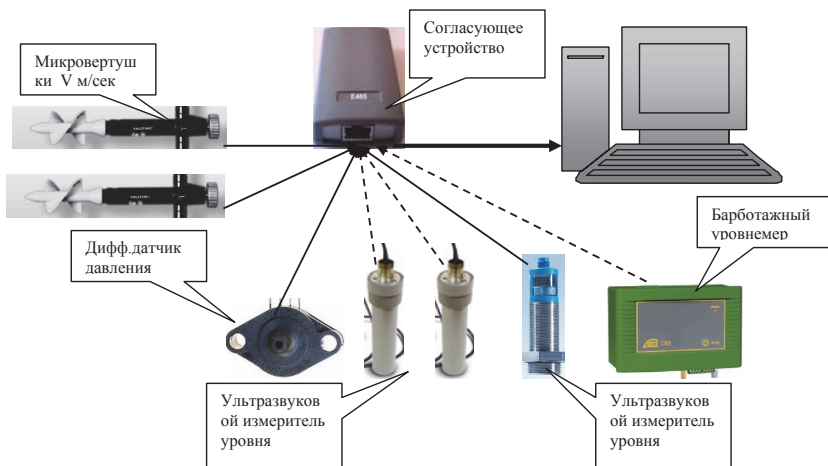


Рис.1 Структурная схема измерительного комплекса.

Общий принцип проведения экспериментальных исследований базируется на интеллектуальном анализе полученных данных (data mining).

В основе метода data mining лежат методы классификации, моделирования и прогнозирования. Способы реализации метода представляют собой: деревья решений, искусственные нейронные сети, эволюционное программирование ассоциативной памяти и нечеткой логики.

Используемый нами метод интеллектуального анализа экспериментальных данных, представляет собой нейросетевую архитектуру, которая базируется на применении двунаправленной ассоциативной памяти, предложенной Барта Коско [5]. Метод базируется на модели гетероассоциативной памяти, в которой запоминаются ассоциации между парами образов, в нашем случае реализации записи гидродинамических параметров, скорости и глубины водного потока, гидравлического уклона. Запоминание происходит так, что при предъявлении нейроновой сети одного из образов (записи реализаций), восстанавливается второй член пары, т.е. другая запись реализаций.

На подготовительном этапе определяется положение основного створа, которое с учетом характера движения воды обеспечит автономность величины уклона по отношению к длине базы измерения. Далее определяются собственные колебания и частотные шумы гидравлической установки, которые определяются на основе серий долговременных экспериментов, во время которых измеряются колебания скорости потока на входе. После проведенных подготовительных работ, осуществляется регистрация исследуемого гидродинамического процесса при различных значениях чисел Рейнольдса и Фруда и различных сочетаниях гидравлических и геометрических параметров.

Статистическая надежность результатов достигается продолжительностью записи процесса, которая может достигать нескольких часов. Уклон водной поверхности измеряется дифференциальным манометром с базовым расстоянием не менее 1.0 метра.

Скорость водного потока измеряется микровертушкой, с дискретностью от 1.0...5.0 сек. Измерения уровня водной поверхности осуществляется

высококчувствительным барботажным уровнемером, с дискретностью не менее 5.0 сек. или высококчувствительным ультразвуковым уровнемером.

На подготовительном этапе анализа гидродинамических временных рядов определяются аномальные значения, которые в последствии заменяются их средними значениями. При дальнейшей обработке определяется тренд, и в случае его выявления он удаляется, с последующим центрированием ряда. Устранение случайных помех, может быть, осуществлено методом скользящего среднего или экспоненциально взвешенного сглаживания. Для всех экспериментальных рядов рассчитываются функции распределения плотности вероятности и спектрограммы.

После расчета спектральной характеристики, иногда, возникает необходимость в решении задачи рассеяния. Это связано с тем, что ординаты спектрограммы являются случайными величинами, следовательно, образуется множество хаотических пиков. Для решения задачи рассеяния определялись частоты с наибольшими спектральными плотностями, т.е. частотные области, состоящие из многих близких частот, вносящие наибольший вклад в периодическое поведение всего ряда, т.е. являющиеся энергонесущими. Рассеяние, устранялось путем сглаживания значений осциллограммы с помощью преобразования средневзвешенного скользящего.

Для всех реализаций вычисляется плотность распределения скорости, которая при наличии в процессе регулярной низкочастотной периодической составляющей является двухмодальной. Действительно, как показано в [6], при возникновении автоколебаний функция распределения становится двухмодальной с максимумами, соответствующими наиболее часто появляющимся величинам.

Данный информационно-измерительный комплекс позволяет решить сложные задачи по обработке и регистрации гидродинамических характеристик нестационарности водного потока.

На рис.2 представлена схема экспериментальной гидравлической установки исследования не стационарного режима течения водного потока.

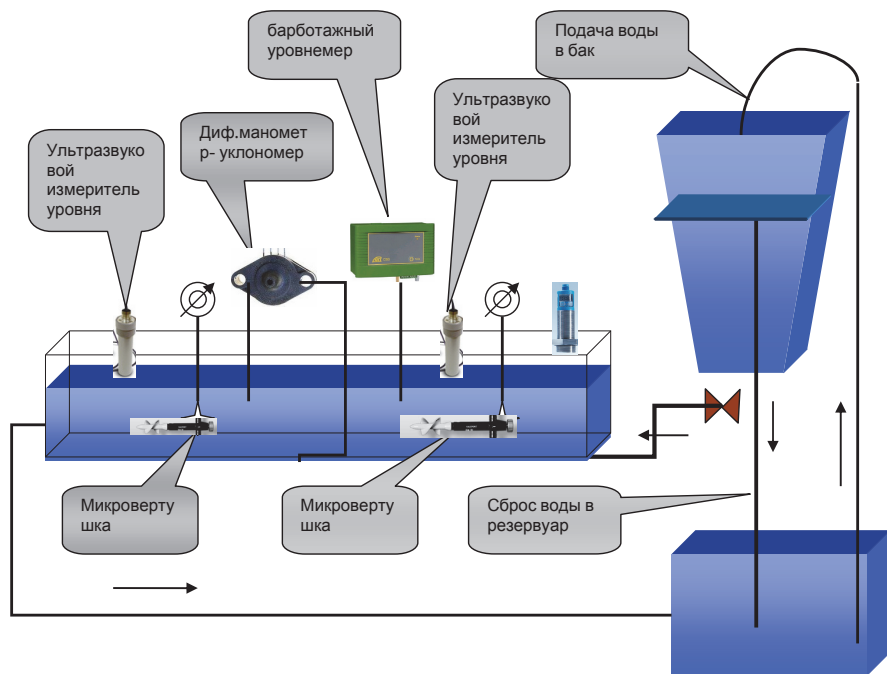


Рис. 2. Схема экспериментальной гидравлической установки исследования не стационарности водного потока и расположение контрольно-измерительного оборудования

### **Выводы.**

Представлена концепция проведения гидродинамических исследований нестационарного режима течения водного потока.

Разработан алгоритм проведения исследований.

Осуществлен подбор приборов, модулей, датчиков и их согласование для совместной работы при проведении измерений. Разработана программа сбора и обработки данных, поступающих от измерительного оборудования, осуществлена адаптация стандартного программного обеспечения для ввода в персональный компьютер. Применен инновационный способ определения колебания уровня водной поверхности и структуры водного потока.



## ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМАЯ ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПОЛИВА

**В.А. Фартуков**, кандидат технических наук, доцент  
ЗАО «Бюро сервиса и эксплуатации» BSM, г. Москва, Россия  
**М.В. Земляникова**, кандидат технических наук, профессор  
ФГОУ ВПО РГАУ-МСХ имени К.А. Тимирязева г. Москва, Россия

В статье приводятся результаты работ по разработке и созданию интеллектуальной энергонезависимой системы для осуществления дифференцированного полива. Разработанная система является дополнительным оборудованием для дождевальных машин. Система позволяет производить подачу воды на полив в соответствии с планом полива, который записывается в интеллектуальный модуль системы.

The article presents the results of works on the development and creation of intellectual nonvolatile system for implementation of differentiated irrigation. The developed system is an optional extra for sprinkling machines. The system allows delivery of water for irrigation in accordance with the plan of irrigation, which is recorded in the smart system.

Результатом работы является разработка энергонезависимого информационного аппаратного - программного комплекса представленного в виде дополнительного навесного оборудования для дождевальных машин. Комплекс базируется на инновационных технологиях в целях осуществления энерго и водо сбережения при поливе сельскохозяйственных культур.

Данный комплекс позволит осуществить контроль над поливом с помощью информации полученной с энергонезависимых датчиков расположенных в зоне полива и на дождевальной машине, а так же при помощи дистанционного управления радио пультом.

Областью применения является мелиоративные системы, оборудованные дождевальными машинами любого типа.

Основными техническими параметрами информационного программно-аппаратного комплекса являются, количество управляемых форсунок,

установленных на дождевальной машине, которое зависит от типа машины, длины одной секции длиной и их количества [1].

Определение местоположения дождевальной системы с регулируемой точностью от 1-2 градусов.

Результаты работы оформлены в виде аппаратно - программного комплекса (модуля), ориентированного на применение микропроцессорных технологий в исполнительной аппаратуре.

Результаты выполненных работ, по этапам представлены в виде интеллектуальных модулей, отчетных материалах, приложениях, схемах.

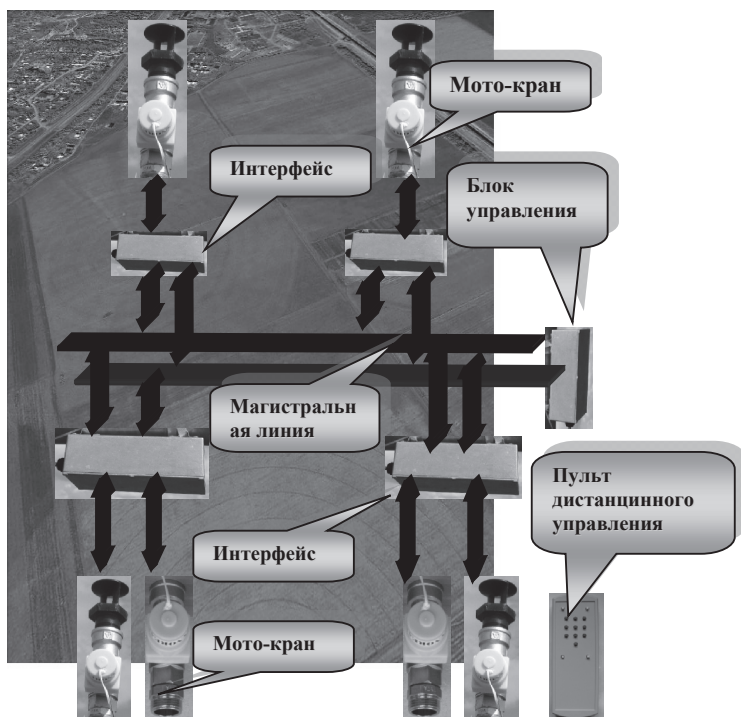


Схема соединения модулей дистанционного управления системой дифференцированного полива

Модульная система предназначена для осуществления дифференцированного полива при помощи дождевальных машин. Система устанавливается на любых дождевальных машинах (например, типа «Фрегат») как дополнительное навесное оборудование.

Система имеет распределенную автономную систему электроснабжения.

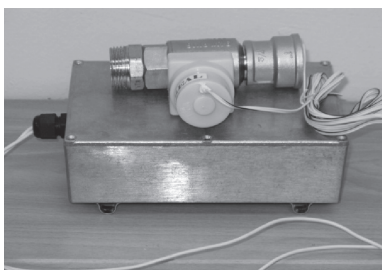
Система состоит из отдельных электронных блоков, установленных в влагозащитных корпусах антивандального исполнения.

**Основными функциями модульной системы являются:**

- установка цифровой карты полива в центральный блок управления используя каналы связи USB и другие (WI-FI, Bluetooth);
- программированное управление подачи воды на орошение;
- программированное управление подачи минеральных удобрений;
- позиционирование дождевальной машины на орошаемом участке;
- контроль о рабочем состоянии дождевальной системой с передачей произошедших событий (авария, остановка) по каналу связи GSM дежурному оператору;
- дистанционное отключение/включение дождевальной машины;
- температурный контроль воздуха;
- перевод в режим ручного управления по радиочастотным каналам связи;
- ручная корректировка карты полива, путем отключения (включения) форсунок;
- назначение и выбор порядкового номера управляемой дождевальной машины;
- полное ручное управление по радиочастотным каналам связи при помощи дистанционного пульта управления, подачей воды на орошение;
- полное ручное управление по радиочастотным каналам связи при помощи дистанционного пульта управления, подачей минеральных удобрений.

Составные элементы модульной системы дифференциального полива.

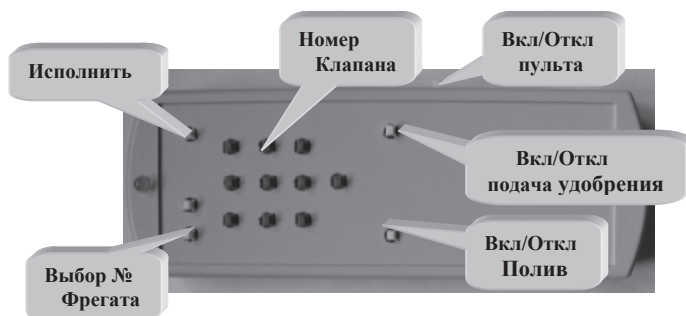
1. Моторизованный кран и интерфейс связи моторизованного крана с центральным блоком управления и радиочастотным каналом.



2. Центральный микропроцессорный программируемый модуль управления с дополнительно установленным радиочастотным блоком [3,4,5].



3. Пульт дистанционного управления.



4. Выносной радиодатчик оборудованный солнечной батареей. Датчик осуществляет контроль влажности почвы и осуществляет управление поливом дождевальной машиной.

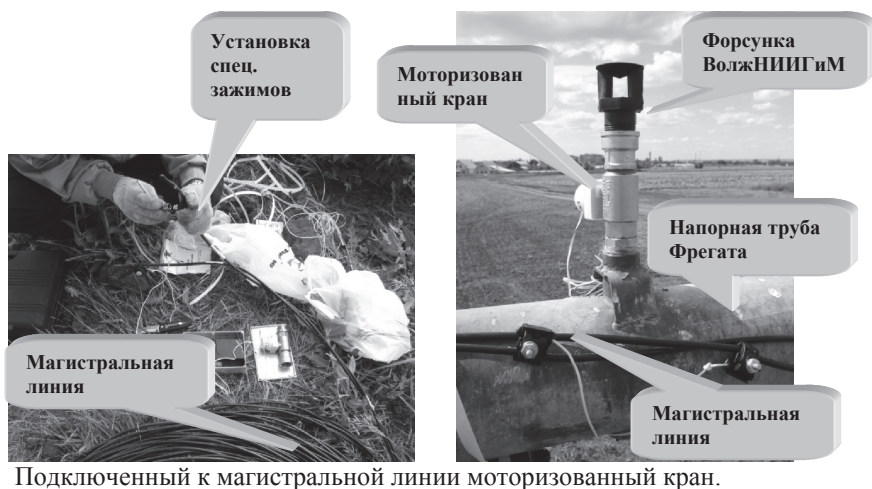


5. GSM модуль связи и контроля (является дополнительной опцией).
6. Магистральная линия, выполненная на основе СИП провода.
7. Специальные зажимы (для соединения модулей с магистральной линией).
8. Крепежные элементы для монтажа модулей на дождевальную машину.
9. Позиционерное кольцо с датчиком и креплением.
10. Монтажные провода.

Исследования проводились, с любезного разрешения ВолжНИИГиМ, на его опытных полях летом 2011 года.

На фотографиях представлены фрагменты установленного оборудования на дождевальной машине «Фрегат».

Подготовка модулей к установке на дождевальную машину «Фрегат».



Установленный интерфейс связи на напорном трубопроводе «Фрегата»



Модульная система дистанционного управления дифференцированного полива в действии.



Работа моторизованного крана с установленной форсункой  
ВолжНИИГиМ



## **Выводы**

Разработанная энергонезависимая интеллектуальная система для осуществления дифференцированного полива является инновационным продуктом базирующейся на современных электронных компонентах. Система позволяет, вносит в собственную память график полива, согласно которому производится подача воды на полив. Контроль за привязкой к поливаемой местности осуществляет «позиционер», который соотносит координатное положение поливальной машины с данными, находящимися в памяти модуля (график полива). Система позволяет производить оперативное управление поливом с помощью дистанционного пульта управления, а так же осуществлять оперативный контроль влажности поливаемого участка и в случае необходимости производить корректировку полива.

## **ОБРАЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**В.А. Фартуков**, кандидат технических наук, доцент  
ЗАО «Бюро сервиса и эксплуатации» BSM, г. Москва, Россия  
**М.В. Земляникова**, кандидат технических наук, профессор  
ФГОУ ВПО РГАУ-МСХ имени К.А. Тимирязева г. Москва, Россия

В статье приводится описание механизма возникновения нелинейных стационарных автономных колебаний возникающих при сопряжении бьефов гидротехнических сооружений в виде гидравлического прыжка. Рассматривается математическая модель динамической системы в виде нелинейного уравнения, в котором энергия водного потока рассеивается при больших амплитудах колебания водной поверхности и генерируется при малых амплитудах. Такая система имеет наличие предельных циклов, которые колеблются около состояния, при котором приток и диссипация энергии сбалансированы, тем самым, определяя наличие бифуркаций векторных полей течения воды в зоне прыжкового сопряжения.

The article describes the mechanism of nonlinear autonomous stationary vibrations arising in conjunction befov waterworks as a hydraulic jump. A mathematical model of a dynamical system in the form of non-linear equations, in which the energy of water flow dissipated at large amplitudes of fluctuations of the water surface, and generated at low amplitudes. Such a system is the availability of limit cycles that fluctuate around a state in which the inflow and dissipation of energy balance, thereby determining the presence of bifurcations of vector fields of water flow in the area hopping interface.

Поступление энергии водного потока и выделение ее (энергии) в водный поток приводит к развитию так называемых целостных систем. Развитие таких систем осуществляется динамикой разницы расходов энергии этих двух потоков в течение времени. Динамическое равновесие системы достигается балансом энергии на входе и выходе из нее [2,3]. Исходя из этого формирование, развитие и самоорганизация целостных систем осуществляется через диалектическое взаимодействие двух разно направленных потоков энергии [1].

Действие потоков энергии формирующих систему направлено на рост показателей характеризующих систему (объем, глубина), а действие потоков



энергии приводящих к её диссипации приводит к их уменьшению. Расход энергии зависит от параметров системы: чем больше размеры системы, создающейся вследствие действия потока энергии на входе, тем больше величина потока энергии на выходе и, наоборот, с уменьшением размера системы уменьшается и величина потока энергии на выходе.

Рост размеров систем, по мере приближения к своим предельным характеристикам, асимптотически затухает, в силу того, что величина расхода потока энергии на выходе системы стремится к энергии на входе системы.

В результате развития системы устанавливается баланс расходов энергии в обоих потоках, характеризующий состояние динамического равновесия, или предельного цикла системы. Постоянно меняющиеся условия развития системы и, следовательно, изменения расходов энергии на входе и выходе, это состояние, динамического равновесия, никогда не достигается, при постоянном стремлении к нему.

Появление энергии водного потока на входе, и формирование системы вызывает через некоторое время появление энергии потока на выходе. С ростом размеров системы мультипликативно нарастает и энергия потока на выходе, за счет увеличения площади  $S$  поверхности. Когда величина энергии потока на выходе превысит величину энергии потока на входе, рост размеров системы (объема, глубины и пр.) прекратится и начнется их уменьшение. По мере уменьшения размеров системы будут снижаться расходы энергии потока на выходе. Когда его величина станет меньше расходов энергии потока на входе, снова начнется рост размеров системы. Таким образом, динамика системы имеет колебательный характер. Необходимо заметить, что вследствие различных причин энергии потоков на входе и выходе, положение равновесия не устанавливается (то есть момент равенства потоков на входе и выходе не устанавливается), и в ней возникают автоколебания даже при постоянной величине энергии потока на входе системы [6,8,9].

Исследования связи между механизмами образования фракталов и возникновения автоколебаний в некоторой системе, осуществляется с помощью

математической модели. Математической моделью реальной системы считается динамическая система, понимаемая как отображение  $S(t,x)$  фазового пространства, или пространства состояний в себя и задаваемую уравнением вида  $dS(t)/dt = V(s(t))$ . Его решением являются кривые в фазовом пространстве, или фазовые траектории.

Как известно, физическому понятию автоколебаний соответствует математическое понятие предельного цикла. Фазовые траектории в его окрестностях имеют вид раскручивающихся или скручивающихся спиралей, наматывающихся на некоторую замкнутую кривую, которая и называется предельным циклом.

Однако эти спирали лишь стремятся к предельному циклу, бесконечно близко к нему приближаясь, но, не пересекая его.

Таким образом, предельный цикл самоподобен, а поведение автоколебательной системы фрактально.

Как известно к автоколебательным системам относятся динамические системы, где определяется один и тот же периодический режим при любых начальных условиях из некоторого множества этих начальных условий. Кроме того автоколебания возникают в нелинейных неконсервативных, автономных системах.

Существование таких автоколебаний, период, амплитуда и форма определяется конструкцией установки (в нашем случае конструкцией нижнего бьефа), ее параметрами, но не начальными условиями.

Так же большой интерес представляют сочетания различных типов колебаний: - воздействие периодической внешней силы;

- колебания во взаимосвязанных автоколебательных системах (например, работа двух и более водобоев на одном основании);

- непосредственное воздействие на автоколебательную систему периодических внешних сил с одновременным периодическим изменением параметров самой системы;

- изменение по периодическому закону одного или нескольких параметров в самой автоколебательной системе;

- воздействие периодических внешних сил на автоколебательную систему с переменными параметрами.

Таким образом, мы видим, что решение уравнения стационарных нелинейных колебаний прыжкового сопряжения бьефов, при различных сочетаниях типов колебаний, чрезвычайно сложны и многообразны, рассмотрение которых мы отложим до следующих публикаций.

Рассматриваемая математическая модель динамической системы [2,3]:

$$y''_1 - 4 \cdot q_1 \cdot \frac{y'_1}{3} + 8 \cdot h_2 \cdot y'_0 \cdot \frac{y'_1}{3} - (y_0)^2 \frac{\gamma_1}{6 \cdot (h_0)^2} + y_0 \cdot y_1 + \frac{y_1}{3} = 0$$

$$y''_2 - 4 \cdot q_1 \cdot y'_2 + 4 \cdot h_2 \cdot \frac{(y_1)^2}{3} + 8 \cdot h_2 \cdot y'_0 \cdot \frac{y'_2}{3} - (y_0)^2 \cdot \frac{\gamma_2}{6 \cdot (h_0)^2} + \dots$$

$$(y_0)^2 \cdot \frac{(\gamma_1)^2}{12 \cdot (h_0)^4} - y_0 \cdot y_1 \cdot \frac{\gamma_1}{3 \cdot (h_0)^2} - \frac{(y_1)^2}{6} + \frac{y_2}{3} = 0$$

основано на понятии состояния, которое описывает систему в некоторый момент времени, а так же на понятии оператора, определяющего изменение этого состояния во времени, где:  $\hat{h}_2$  – осредненная вторая сопряженная глубина,  $h$  – ее актуальное значение,  $q_1$  – удельный расход сечения,  $Y$  – малый параметр ( $Y = 1/\hat{h}^2$ ).

### **Выводы**

Состояние самой системы можно рассматривать как точку некоторого пространства, называемого фазовым пространством системы [4,5,7].

Изменению состояния системы отвечает в фазовом пространстве движение соответствующей точки, называемой изображающей. Движение изображающей точки описывающей кривую, есть фазовая траектория.

И так приведенное определение математической модели динамической системы, целиком отвечает рассматриваемой системе.

Необходимо так же отметить справедливость того, что макротурбулентность с характерным временным масштабом  $T_m$  большим временного масштаба  $T_n$  является источником генерации автоколебательного режима при сопряжении бьефов.

## ПРЕДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

*Дыба Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор,  
Институт безопасности гидротехнических сооружений,  
г. Новочеркасск, Россия*

### Аннотация

Обсуждается состояние расчетов по первому предельному состоянию в отечественном фундаментостроении.

### Abstract

The condition of calculations for the first limit state in domestic foundation engineering is discussed.

1. В предлагаемой статье продолжается обсуждение методов расчета фундаментов по предельным состояниям в практическом отечественном проектировании, начатое автором в работе [1].

Свод правил по основаниям зданий и сооружений СП 28.13330.2011 в пункте 5.1.2 провозглашает, что основания рассчитываются по двум группам предельных состояний. Но сразу перечисляются случаи, когда по деформациям рассчитывать не надо (например, когда основание из плотных песков), и приводится *исчерпывающий* перечень случаев, когда должен производиться расчет основания по несущей способности.

Отсюда вроде бы следует, что для обычного здания на песчаном основании, вблизи которого нет откосов, котлованов, подземных выработок, можно не проводить расчеты по деформациям и по несущей способности.

Однако в пункте 5.6.52 указывается, что расчет деформаций основания в этом случае допускается не выполнять, если среднее давление под фундаментами проектируемого сооружения не превышает расчетное сопротивление грунтов основания:

$$\sigma_{cp} \leq R \quad (1)$$

В проверке условия (1) и заключается расчет по несущей способности в отечественном проектировании. Проверка (1) производится всегда, что

согласуется с общемировым требованием обязательности расчета по несущей способности - по Ultimate Limit State.

Приведенная в своде правил СП 28.13330.2011 знаменитая трехчленная формула 5.32 вертикальной составляющей силы предельного сопротивления  $N_u$  основания играет декоративную роль, т.к. её применение противоречит пункту 5.1.2.

2. Вопрос о предельном сопротивлении грунтового основания не может быть решен в рамках целого ряда используемых моделей грунтовой среды.

Например, после решения задачи теории упругости, после нахождения перемещений, деформаций и напряжений расчет по первому предельному состоянию проблематичен. Затруднения заключаются в следующем. Используя локальные критерии прочности, требующие, чтобы некоторая функция от компонент напряжений не превышала определенного значения, можно, конечно, указать нагрузку на фундамент, при которой в теле фундамента или в грунтовом основании зарождаются пластические области. Но это не то значение внешней силы, больше которого внешняя сила не может расти, т.е. не предельная сила сопротивления системы «фундамент - основание».

Проблема не снимается использованием моделей тел, описываемых деформационной теорией пластичности или теорией пластического течения с упрочнением. И в этом случае, как пишет Ю.Н. Работнов [2]: «Вопрос о возможности разрушения остается открытым, а сама модель упрочняющегося тела не содержит в себе элемента, позволяющего ставить вопрос о разрушении».

Задача нахождения предельной силы сопротивления грунтового основания решается в рамках модели идеально-пластического тела. В рамках этой модели Прандтль нашел точное решение о предельной полосовой нагрузке на невесомое основание. Решение Прандтля является ядром трехчленной формулы 5.32, которая видоизменялась от Терцаги до Б. Хансена и которая дает зависимости предельной силы от формы фундамента и объемного веса грунта.

При нахождении расчетного сопротивления  $R$  использовалось линейно упругое решение для основания, нагруженного полосовой нагрузкой с пригрузкой.  $R$  соответствует интенсивности полосовой нагрузки, при которой «зоны разрушений» достигают глубины, равной  $\frac{1}{4}b$  - ширины фундамента. Это совсем не значит, что величина  $R$  найдена в рамках упругой модели. С точки зрения предельного анализа, основанного на идеальнопластической модели грунта, построено приближенное статически допустимое поле напряжений, которое и порождает нижнюю оценку неизвестной предельной силы. Приближенное в том смысле, что в малых «зонах разрушения» поля напряжений статически недопустимы.

Интересно отметить, что давления, при которых «зоны разрушения» соприкасаются, лишь на 5 % - 7 % больше  $R$  [3].

3. Рассмотрим на примере насколько различаются силы  $R \cdot F$ , где  $F$  - площадь подошвы фундамента, и  $N_u$ .

Пусть грунтовое основание сложено из супеси, удельное сцепление которой 13 кПа, угол внутреннего трения  $25^\circ$ , вес грунта 18,6 кН/м<sup>3</sup>, ширина ленточного фундамента 1 м, глубина заложения 1 м. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета грунтового основания

при $c=13 \text{ кПа}$ , $\varphi=25^\circ$ , $\gamma=18,6 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$			
$R \cdot 1 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$N_{\text{прандтль}} \frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$N_u \frac{\text{кН}}{\text{м}}$	$N_u / R \cdot 1$
177,6	465	577	3,25

Из табл. 1 видно, что предельные давления в разы больше расчетного сопротивления  $R$ . Единичность примера не должна смущать. Для других грунтовых условий и фундаментов результат сравнения будет похожим.

Отсюда следует, что несущая способность грунтовых оснований недоиспользуется.

Автор статьи не призывает немедленно заменить условие (1) условием (2):

$$\sigma_{cp} < N_u / F \quad (2)$$

Ясно, что вопрос о более полном использовании несущей способности грунтовых оснований сложный, связанный с повышением квалификации и профессиональной культуры исполнителей инженерно-геологических изысканий, проектировщиков и строителей.

Кроме того, вопрос об адекватности трехчленной формулы  $N_u$  для вычисления предельного сопротивления грунтовых оснований не совсем ясен. Проблема имеет две стороны: а) не превышает ли  $N_u$  неизвестную предельную силу в рамках идеально-пластической модели грунта с условием прочности Кулона-Мора; б) адекватна ли идеально-пластическая модель грунта с условием прочности Кулона-Мора описывает разрушение грунтовых оснований.

Первая сторона проблемы выглядит решаемой. Можно, например, доказать, что в случае ленточного фундамента формула  $N_u$  дает нижнюю оценку неизвестной предельной силы.

Вторая сторона проблемы представляется более сложной.

Ответ на вопрос о правильности того или другого метода расчета предельного сопротивления грунтов основания может дать эксперимент. Однако на этом пути есть определенные трудности. Попытки проведения натуральных экспериментов по определению предельной нагрузки на основание автору известны, но удачных среди них нет.

Основные усилия экспериментаторов связаны с модельными лотковыми опытами. При уменьшении размеров натурального фундамента до размеров модели появляется проблема переноса результатов модельного эксперимента на натурное явление. Из уравнений теории предельного напряженного состояния следует, что величина (критерий подобия)



$$\frac{\gamma L}{c},$$

где  $\gamma$  - объемный вес грунта,  $L$  - характерный размер,  $c$  - удельное сцепление, для модели и натуре должна принимать одинаковое значение. При использовании в лотковом опыте грунта, обладающего сцеплением, требуется увеличение  $u$ , т.е. применения центрифуги. Поэтому и по другим причинам экспериментаторы проводят опыты по нагружению моделей фундаментов на песчаном основании.

В Новочеркасской научной школе механики грунтов и фундаментостроения много лет проводились лотковые испытания моделей фундаментов с возрастанием нагрузки до предельной [4].

Во всех лотковых экспериментах в качестве основания использовался среднезернистый воздушно-сухой песок плотного сложения. Подготовка песчаного основания велась во всех случаях по одной и той же технологии: песок частично вынимался из лотка, затем отсыпался слоями толщиной до 5 см с послойным трамбованием. Плотность песка контролировалась, и до начала каждого эксперимента он имел следующие физические характеристики:  $\gamma=1,74 - 1,75$  г/см<sup>3</sup>,  $\gamma_{уд}=2,66$  г/см<sup>3</sup>,  $W=0,16 - 0,22$  %,  $e=0,53$ .

Для определения прочностных характеристик песка проводились сдвиговые испытания и в стандартном приборе с круглой обоймой ( $S=50$ см<sup>2</sup>), и в стандартном приборе с прямоугольной обоймой ( $S=200$  см<sup>2</sup>). Строительные правила рекомендуют линейную зависимость  $\tau(\sigma)$  определять методом наименьших квадратов. В соответствии с этой рекомендацией были найдены прочностные характеристики плотного песка  $c_p$  и  $c$ , представленные в табл. 2.

Подставляя, например, данные совместной обработки из табл. 2 в обобщенную формулу Прандтля, получим предельное давление  $P=3,997$  мПа, представленное в последней строчке табл. 2.

Становится ясным значение методики лабораторного определения прочностных характеристик плотного песка, ведь наибольшее значение расчетного предельного давления в 1,77 раз больше наименьшего значения.

Таблица 2 – Результаты обоснования прочностных характеристик песка при использовании различных методов испытания

Для прибора с круглой обоймой	Для прибора с прямоугольной обоймой	Совместная обработка
$\varphi = 40^{\circ}05'$	$\varphi = 40^{\circ}37'$	$\varphi = 40^{\circ}56'$
$c=0,316$ кг / см <sup>2</sup>	$c=0,563$ кг / см <sup>2</sup>	$c=0,427$ кг / см <sup>2</sup>
При заглублении подошвы на 34,5 см (пригрузка $q=0.006195$ МПа):		
$P=2,804$ МПа	$P=4,963$ МПа	$P=3,997$ МПа

Отметим, что облако экспериментальных точек указывает на кривизну предельной линии. В работе [5] предельная линия определялась в виде двухзвенной ломаной методом наименьших квадратов. Сухой песок не держит откос и, следовательно, не имеет сцепления, значит, первое звено ломаной должно проходить через начало координат. Уравнение первого звена

$$\tau = tg(48^{\circ}49')\sigma$$

а уравнение второго звена выглядит так

$$\tau = tg(40^{\circ}04')\sigma + 0,0541 \text{ кг / см}^3$$

В работе [4] представлена формула предельных давлений, обобщающая решение Прандтля на случай двухзвенной ломаной предельной линии:

$$P = A_2 \cdot e^{\frac{\pi(A_2-1)}{2\sqrt{A_2}}} \cdot \frac{C_2(A_1-1)}{(A_2-1)(A_1-A_2)} \cdot \left[ \frac{(A_1-A_2)q}{C_2} \right]^{\frac{\sqrt{A_1} A_2-1}{A_2 A_1-1}} - \frac{C_2}{A_2-1}, \quad (3)$$

$$A_i = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad C_i = \frac{2c_i \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (4)$$

где

Рассмотрим расчетный пример вычисления предельных давлений для условий эксперимента [6].

*Пример 1.* Условие прочности представляется в виде кусочно-линейной зависимости между главными напряжениями, параметры которой:  $\varphi_1=48^{\circ}49'$ ,

$\varphi_2=40^{\circ}04'$ ,  $c_1=0$ ,  $c_2=0,00541$  МПа. Используя формулы (4), пересчитаем прочностные характеристики:  $A_1=7,084$ ,  $A_2=4,613$ ,  $C_2=0,232$  МПа.

Пусть глубина заложения подошвы ленточного фундамента  $0,354$  м, что соответствует пригрузке  $q=0,006195$  МПа.

Предельное давление на основание, если бы прочность определялось только первым звеном, было бы равно  $P=1,591$  МПа.

Предельное давление на основание, если бы прочность определялось только вторым звеном, было бы равно  $P=4,505$  МПа.

При условии прочности в виде ломаной кусочно-линейной зависимости предельное давление, вычисленное по формуле (3), равно  $P=1.322$  МПа.

Рассмотренный пример 1 показывает, что учет кривизны предельной линии, переход от прямой предельной линии к билинейной линии резко уменьшает расчетную несущую способность. Несущая способность, вычисленная по формуле (3), меньше несущей способности, вычисленной по формуле Прандтля с параметрами из табл.2 (совместная обработка), в три раза.

Обратимся к экспериментальным данным лотковых испытаний [6].

Три квадратных штампа, поставленные в ряд, представляли «ленточный» фундамент шириной  $35,4$  см. При заглублении подошвы штампов в песок на  $35,4$  см средние предельные давления составили  $0,649$  МПа. Экспериментальные предельные давления оказались в шесть раз меньше прантлевского давления и в два раза меньше давления, вычисленного по формуле (3). Это неожиданный результат, требующий обсуждений. Во-первых, заметим, что учет кривизны предельной линии, использование формулы (3), резко приближает предельную нагрузку от прандтлевской к экспериментальной. Во-вторых, укажем на недостаток стандартных сдвиговых приборов при определении прочностных характеристик плотных грунтов.

Известно, что величина сдвигающей силы для плотного грунта (рис.), пористость которого меньше критической, с ростом сдвига преодолевает некоторый максимум  $T_1$ , а затем стабилизируется около величины  $T_2$ . Если точки предельной кривой определяются по величине  $T_1$  (как это и делается в

стандартных сдвиговых испытаниях), то соответствующая предельная теоретическая нагрузка будет больше действительной, опытной, т.к. максимальное сопротивление сдвигу  $T_1$  по площадкам скольжения в разных точках области течения грунтового основания будет преодолеваться *неодновременно*. Следовательно, при использовании решений идеальной пластичности параметры условия прочности необходимо определять по величине  $T_2$ . При этом теоретическая несущая способность должна быть несколько меньше опытной.

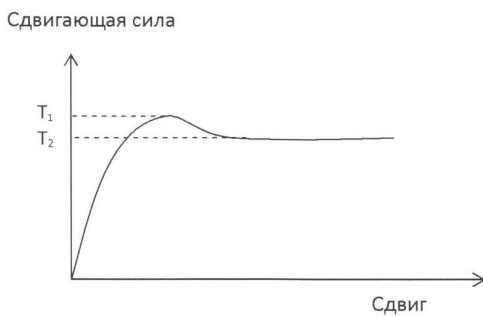


Рис. Изменения сдвигающей силы при росте сдвига

Однако определение величины  $T_2$  требует сдвиговых приборов новой конструкции.

*Заметим, что при умножении параметров билинейной зависимости примера 1 на понижающий коэффициент 0,9 предельное давление в условиях данного примера станет равным  $p=0,694$  МПа, т.е. практически совпадет с предельным давлением в эксперименте.*

Отсюда следует, что прочностные характеристики плотных грунтов, полученные в результате стандартной обработки результатов стандартных сдвиговых испытаний, следует умножать на понижающий коэффициент.

5. Сделаем некоторые выводы. Выводы касаются только плотных песчаных оснований.

При использовании стандартных сдвиговых приборов и стандартной методике определения параметров предельной линии с помощью метода наименьших квадратов пользоваться трехчленной формулой  $N_u$  для определения предельного сопротивления плотного песчаного основания нельзя. Для безопасного использования формулы либо должна измениться сама трехчленная формула с учетом кривизны предельной линии для плотных песков либо должно измениться положение расчетной прямой предельной линии относительно облака экспериментальных точек. При этом её положение не будет определяться методом наименьших квадратов.

## СОДЕРЖАНИЕ

О ВЛИЯНИИ ГРУНТА – ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ИЗГИБЕ ЯЧЕЙСТОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ <i>Бахтин Б.М., Шарков В.П.</i> .....	3
ОБРАЗОВАНИЕ ЗАТОРОВ ЛЬДА НА РЕКАХ БАССЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ <i>С.А. Агафонова, А.Н. Василенко, Д.В.Козлов, Н.Л. Фролова</i> .....	13
ПРОБЛЕМЫ ОБРАСТАНИЯ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ <i>А.И. Есин, Т.Н. Сауткина</i> .....	24
БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И МЕРЫ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ КИТАЯ <i>Нань Фэн, Козлов Д.В.</i> .....	31
НОВЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРОЙСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОСОНАПРАВЛЕННЫХ ДОННЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПОРОГОВ В СОСТАВЕ БЕСПЛОТИННЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ ГИДРОУЗЛОВ НА МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕКАХ <i>А.В. Кловский, Д.В. Козлов</i> .....	41
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КИТАЙСКОЙ ГИДРОТЕХНИКИ <i>Нань Фэн, Журавлева А.Г.</i> .....	49
НАНОСЫ И ТУРБУЛЕНТНОСТЬ <i>В.С.Вербицкий</i> .....	58
ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И МЕРЫ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ <i>С.С. Соловьёв</i> .....	69
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева В ПРЕДСТАВЛЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ СТУДЕНТОВ (К 150-летию ТСХА) <i>С.С. Соловьёв</i> .....	79

<p>ВЫПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСИ ПОТОКА СТЕСНЕННОГО КОМБИНИРОВАННОГО ДАМБАМИ</p> <p><i>Бакиев М.Р., Шукурова С.Э.</i>.....</p>	84
<p>ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ</p> <p><i>Н.В. Ханов, К.Д. Козлов.</i>.....</p>	90
<p>ОБ ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА ЗА ГАСИТЕЛЯМИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ</p> <p><i>Мвуйекуре Жан Клод.</i>.....</p>	95
<p>ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ ПОСЛЕ РЕЛИНИНГА</p> <p><i>В.И. Алтунин, О.Н. Черных.</i>.....</p>	100
<p>БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ И СООРУЖЕНИЙ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ СТОЛИЧНЫХ ПРУДОВ</p> <p><i>В.И. Волков, О.Н. Черных, В.И. Алтунин.</i>.....</p>	111
<p>К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ АСПЕКТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ</p> <p><i>О.Н. Черных, В.И. Алтунин.</i>.....</p>	125
<p>ОЦЕНКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО КРЕПЛЕНИЯ - ГЕОРЕШЁТКИ С КРУПНОЗЕРНИСТЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ДЛЯ ВОДОТОКОВ СО ЗНАЧИТЕЛЬНЫМ УКЛОНОМ</p> <p><i>Гурьев А.П., Ханов Н.В., Баранов Е.В.</i>.....</p>	134
<p>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ЗАРЯДКИ СИФОНОВ ПРИ ПОЛИВАХ</p> <p><i>Н.А. Абдураманов.</i>.....</p>	143
<p>КОНСТРУКЦИИ ЭРЛИФТНЫХ РЫБООТВОДОВ</p> <p><i>Т.Л. Ляпта.</i>.....</p>	146

НОВЫЕ МЕТОДЫ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАСОСНОГО АГРЕГАТА СИСТЕМЫ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА <i>Р.Р. Эргашев, Т.Ш. Мажидов, О.Я. Гловацкий, А.И.Азимов, Ф.А. Бекчанов....</i>	153
УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>О.Я. Гловацкий, Р.Р. Эргашев, Ш.Р.Рустамов, Н.Р.Насырова.....</i>	160
ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ <i>Т.Ш.Мажидов, Э.К. Кан, А.С.Бадалов, Б.Р. Уралов.....</i>	167
ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ КАЗАХСТАНА <i>Т.Т. Ибраев, М.А. Ли.....</i>	175
К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗА ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩНЫХ ГИДРОУЗЛОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН <i>Ф.Ш. Шаазизов.....</i>	181
НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ С ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>М.В. Нестеров, И.М. Нестерова .....</i>	187
КОНСТРУКЦИИ ПОЛЬДЕРНЫХ СИСТЕМ <i>М.В. Нестеров, Наумов В.А., Пунтусов В.Г., Шадрин Н.И., Ковалев В.П., И.М. Нестерова .....</i>	192
ПРОБЛЕМЫ ПОДТОПЛЕНИЯ СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ <i>Б.С. Ксенофонтов, Р.А. Таранов, А.С. Козодаев, А.А. Воропаева, М.С. Виноградов, Е.В. Сенник .....</i>	201
ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ III И IV КЛАССОВ, ОТРАБОТАВШИХ УСТАНОВЛЕННЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Ф.В. Матвеенков .....</i>	209



ЭНЕРГОГАСЯЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ШАШЕЧНЫХ ГАСИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ПОТОКА ПРИ НАРУШЕНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ <i>Розанова Н.Н., Бай Шубинь</i> .....	216
ИСКУССТВЕННАЯ ШЕРОХОВАТОСТЬ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЯЧЕИСТЫХ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА СКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ <i>Шарков В.П.</i> .....	225
ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ВЛИЯНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ <i>Б.Т.Курбанов, Н.М.Джураев, Хусамитдинов А.С., Ёдгоров Ш.И., Курбанов Б.Б.</i> .....	235
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ ЧАРТАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ДО И ПОСЛЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС Г ТЕХНОЛОГИЙ И GPS <i>Н.М.Джураев, Б.Т.Курбанов, Хусамитдинов А.С., Ёдгоров Ш.И., Курбанов Б.Б.</i> .....	244
ИННОВАЦИОННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ ВОДНОГО ПОТОКА <i>В.А. Фартуков, М.В. Земляникова</i> .....	251
ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМАЯ ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПОЛИВА <i>В.А. Фартуков, М.В. Земляникова</i> .....	257
ОБРАЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ <i>В.А. Фартуков, М.В. Земляникова</i> .....	264
ПРЕДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ <i>Дыба Владимир Петрович</i> .....	269

*Научное издание*

# **Проблемы управления водными и земельными ресурсами**

Материалы Международного научного форума,  
Москва, 30 сентября 2015 г.

Часть 3

Издано в авторской редакции  
Корректурa авторов  
Отпечатано с оригинала, предоставленного авторами  
Обложка – *М.В. Васильева*

Подписано в печать 23.09.2015 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Усл. печ. л. 17,5. Тираж 100 экз. Зак. 516.

Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева  
127550, Москва, ул Тимирязевская, 44  
Тел.: 977-00-12, 977-26-90