

# СТЕНДЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПУЛЬСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ОТ ПОТОКА НА КРЕПЛЕНИЕ ЗА ВОДОСБРОСНЫМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ

В.М. Иванов

*Статья посвящена стендам для экспериментального физического моделирования при исследовании пульсации давления, для определения гидродинамической нагрузки от потока на крепление за водосбросными гидротехническими сооружениями.*

## ВВЕДЕНИЕ

Явление поверхностного прыжка, создаваемого при сопряжении бьефов гидротехнических сооружений путем устройства в конце водосливной части плотины уступа, было открыто советским ученым проф. А.А. Сабанеевым в первой половине 20-х годов и впервые применено на плотине Волховской ГЭС.

Вопрос об определении типов режимов сопряжения бьефов за водосливной плотиной с уступом и их границ в настоящее время, благодаря работам ряда советских ученых, А.А. Сабанеева, И.И. Леви, Д.И. Кумина, Т.Н. Астафичевой, И.Л. Розовского, М.Ф. Складнева, С.М. Слискового, М.Д. Чертоусова, Н.В. Шрагина, М.А. Михалева, С.А. Кузьмина и др., сравнительно хорошо изучен для практических целей. Наиболее полная классификация, отражающая типы режимов сопряжений бьефов, приведена Д.И. Куминым. В зависимости от положения в нижнем бьефе транзитной струи по глубине потока, на участке сопряжения режим сопряжения может быть донным или поверхностным. В первом случае транзитная струя с большими скоростями находится у дна, во втором случае - у поверхности. Однако возможны и смешанные варианты. На рис.1. приведены характерные режимы сопряжения бьефов. Они даны в последовательности их возникновения при постепенном повышении уровня нижнего бьефа. Наиболее интересными, с точки зрения практики, являются поверхностный и поверхностно-донный режим сопряжения бьефов, так как их можно обеспечить при уровнях нижнего бьефа меньших, чем затопленные их варианты. Они могут быть применены более широко, а по своему воздействию на крепление нижнего бьефа, они менее интенсивны, чем донный режим за водосливной плотиной с уступом и соответствующий ему донный режим за водосливной плотиной с плавным сопряжением водосливной грани с водобоем.

Интенсивное гашение энергии при сопряжении бьефов сопровождается значительным силовым воздействием потока на твердую границу, получившим название гидродинамической нагрузки.

В современных условиях существует два способа изучения воздействия потока на элементы сооружений:

- расчет элементов сооружения на основании данных, полученных теоретически и экспериментально, о кинематической структуре потока, пульсационной составляющей гидродинамического давления и др.;

- моделирование напряженного состояния конструкции гидросооружений на гидравлических моделях.

Менее трудоемким является первый способ, на котором остановимся подробнее.

Обычно гидродинамическая нагрузка представляется в виде суммы двух ее составляющих: осредненной во времени и пульсационной. Как осредненная нагрузка, так и пульсационная зависят от целого ряда конструктивных и гидравлических параметров водосбросов, поэтому наиболее надежный способ их получения связан с постановкой лабораторных исследований.

Осредненная нагрузка определяется с использованием уравнения Бернулли, интегральной теоремы изменения количества движения или непосредственно по эпюре дефицита давления, которая строится по результатам пьезометрирования нижнего бьефа.

Что же касается пульсационной нагрузки, то ее изучение связано, в основном, с постановкой сложных экспериментов. Существует три способа исследования пульсации гидродинамической нагрузки в лаборатории.

К первому способу можно отнести исследования, в результате которых получают характеристику пульсации равнодействующей

нагрузки на значительной по площади элемент крепления или целую плиту, а также пульсации момента равнодействующей относительно краев плиты. Ко второму способу следует отнести информацию, полученную с помощью датчиков с малой площадью приемной мембраны, условно называемых "точечными", о характеристиках функций распределения вероятностей, многомерных корреляционных функций и спектральных плотностей. К третьему способу относится оценка пульсации давления косвенными методами, например, по состоянию предельного равновесия несвязного грунта.

В виду большей информативности большинство исследователей предпочтение отдает второму способу.

При расчете крепления нижнего бьефа за водосливной плотиной с гладким сопряжением водосливной грани с водобоем осредненная гидродинамическая нагрузка является основной, пульсационная часть гидродинамической нагрузки составляет лишь 10-15% и в расчетах может быть учтена небольшим увеличением толщины и степени армирования водобойной плиты.

При поверхностном режиме, возникающем в нижнем бьефе за водосливной плотиной с уступом, значение осредненной гидродинамической нагрузки по данным С.А. Кузьмина незначительно и становится соизмеримо с пульсационной составляющей. В связи с этим с особой необходимостью встает вопрос об определении пульсационной нагрузки для широкого диапазона возможных проектных решений конструкций как самого водосброса, так и крепления нижнего бьефа. В связи со сложностью пульсационных явлений и трудностью их изучения они выделены из общих гидродинамических нагрузок и рассматриваются отдельно. При этом экспериментальный путь исследования является основным.

Анализируя литературные источники, можно отметить, что пульсации давления на крепление нижнего бьефа при донном режиме сопряжения бьефов за водосливной плотиной с плавным сопряжением водосливной грани с водобоем посвящено значительно больше работ, чем пульсации давления при поверхностном режиме за водосливной плотиной с уступом.

Учитывая общность многих причин, вызывающих пульсацию давления, методов и средств ее изучения как при донном, так и при поверхностном режиме, а также необходимость анализа преимуществ и недостатков этих двух типов плотин, приведем более подробное описание гидравлических стендов для их изучения.

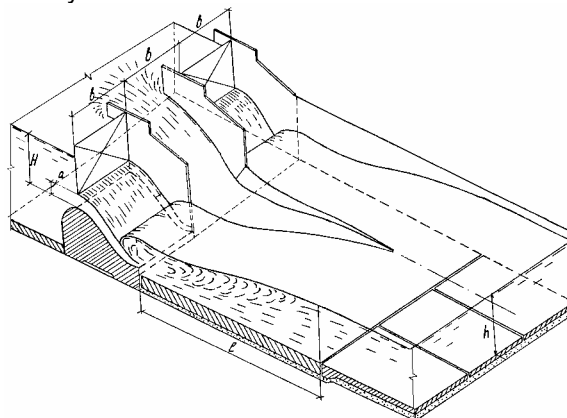


Рис.1. Схема сопряжения бьефов водосливной плотиной с уступом

#### СТЕНД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА КРЕПЛЕНИЕ ЗА ВОДОСБРОСАМИ

Исследования пульсации гидродинамической нагрузки на крепление нижнего бьефа производилась по специальной установке, запроектированной автором и построенной в лаборатории "Комплексных исследований гидроузлов" кафедры "Гидротехнические сооружения" Ленинградского политехнического института в 1980 году, схематически показанной на рис.3.

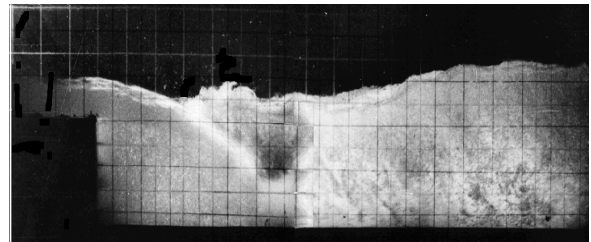
Экспериментальный лоток, выполненный из массивного проката, имел длину 10 м, а ширину 1 м. Начальная часть лотка имела высоту 1,5 м, а остальная 1 м.

В лотке на расстоянии 3 м от его начала была установлена разборная универсальная модель водосливной плотины 17, выполненная из органического стекла, что позволило добиться высокой точности изготовления оголовка, очерченного по координатам Кригера-Офицера, и водосливной грани, имеющей в своем конце уступ.

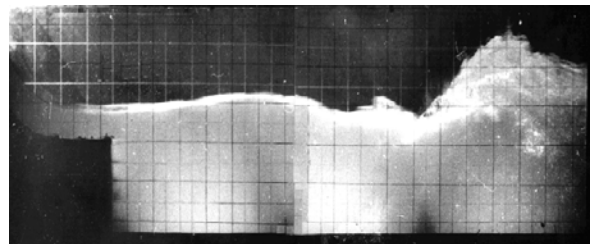
СТЕНДЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
 ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПУЛЬСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
 ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ОТ ПОТОКА НА КРЕПЛЕНИЕ ЗА ВОДОСБРОСНЫМИ  
 ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ

Типы режимов сопряжения бьефов

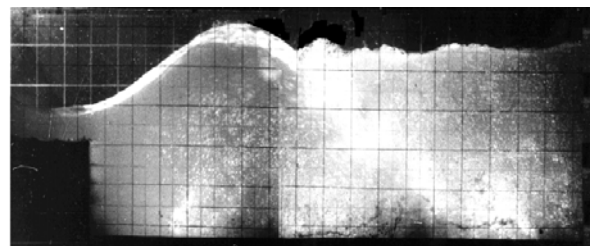
№ б/п	Типы режимов сопряжения бьефов	Название режима
1		Донный (прыжок оттока)
2		Донный (прыжок в критической форме)
3		Донный (прыжок затоплен)
4		Поверхностный
5		Поверхностно-донный
6		Затопленный поверхностно-донный
7		Поверхностный затопленный
8		Восстановленный донный
9		Поверхностный на слабой грани и при затоплении патины



3. Донный (затопленный)



4. Поверхностный



5. Поверхностный - донный

Рис. 2. Типы режимов сопряжения бьефов за водосливной плотиной с уступом

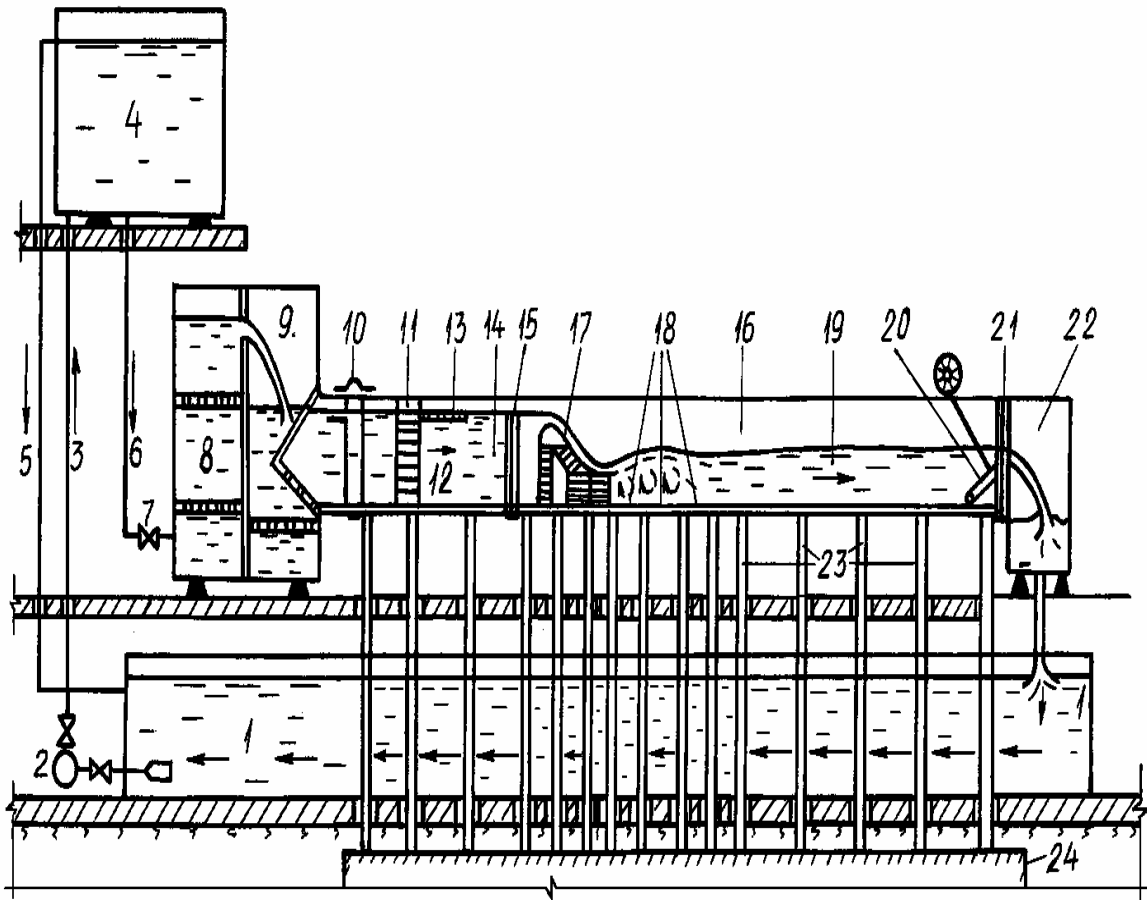


Рис. 3. Схема опытной установки: 1 - сборный резервуар; 2 - насос; 3 - напорная труба; 4 - напорный резервуар; 5-сливная труба; 6-подводящая труба; 7-регулирующая задвижка; 8-успокоитель мерного водослива; 9-мерный водослив; 10-резиновая манжета; 11-трубчатый струевыравниватель; 12 - успокоитель в голове лотка; 13 - плавающая решетка; 14, 19 - створы изменения уровней верхнего и нижнего бьефов; 15, 21 - резиновые прокладки; 16 - лоток; 17 - модель водосливной плотины; 18 - водобойные плиты; 20 - регулятор уровня нижнего бьефа; 22 - слив; 23 - опоры; 24 - фундамент

## СТЕНДЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПУЛЬСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ОТ ПОТОКА НА КРЕПЛЕНИЕ ЗА ВОДОСБРОСНЫМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ

Модель водосливной плотины схематически изображена на рис.4. К основанию 1 крепятся блоки напорной грани 2, блоки высоты уступа 9 и блоки, согласующие сопряжение 10. К согласующим блокам 10 крепится блок низового клина 6, а к нему блоки водосливной грани. Блоки водосливной грани 5 и блоки уступа 9 сопрягаются блоком-радиусом 7. Блок-оголовок 3 крепится к блокам напорной грани 2 и блокам водосливной грани 5 посредством верхового блока-клина 4. Замена блоков верхового 4 и низового 6 клина позволяла изменить наклон водосливной грани, набор разного количества блоков напорной 2 и водосливной грани 5 позволял менять высоту модели. Набор разного количества блоков, согласующих сопряжение водосливной грани 5 и блоков уступа, позволял менять высоту уступа или вообще убирать его. Возможно также замена блока-оголовка 3 и блока-радиуса 7 блоками иного очертания. Все части модели соединялись между собой шпильками из латуни. В целом набор вставок позволял изменять высоту плотины от 20 до 70 см, высоту уступа от 0 до 50 см.

В головное устройство лотка (см. рис.3) вода подавалась двумя трубами 6 диаметром 300 мм из напорного резервуара 4, в который она поступала, нагнетаемая насосами 2 из сборного резервуара 1. Оно было снабжено успокоителем 8 и мерным треугольным водосливом 9. Величина расхода измерялась с точностью до 1-2%.

В начале лотка для получения равномерного потока были установлены вертикальные решетки, одна из которых (11) была выполнена в виде набора трубок диаметром 10 см и длиной 50 см.

Для гашения энергии волнения в верхнем бьефе была использована горизонтальная, плавающая на поверхности решетка. Таким образом, при установившемся режиме колебания верхнего бьефа практически отсутствовали. Этому способствовала и значительная длина подходного участка лотка до плотины.

Расстояние от основания плотины до конца лотка составляло 7 м, т.е. в 15-20 раз больше глубины нижнего бьефа, имевшей место при различных расходах, формах сопряжения бьефов и высотах уступа. Этого вполне достаточно при изучении пульсации давления в области водобоя.

В конце лотка был установлен поворотный затвор 20 с переливом воды через него, при помощи которого легко установились нужные уровни воды в нижнем бьефе.

Уровни нижнего и верхнего бьефа измерялись пьезометрами в створах 14 и 19, расположенных на расстоянии не менее 4 максимальных напоров от гребня модели водосливной плотины и сбросного затвора, соответственно. Точная фиксация уровня верхнего и нижнего бьефа, а также измерение статического (осредненного) давления по оси лотка осуществлялись с помощью пьезометров, имеющих диаметр 30 мм, что значительно больше впускного отверстия пьезометра, имевшего диаметр 0,8 мм. Это предотвращало колебания уровня в пьезометрах.

Лоток имел также подвижную тележку с установленными на ней мерной иглой с ценой деления 0,1 мм для фиксации уровня воды в нижнем бьефе и микровертушкой для регистрации осредненных скоростей течения.

Во избежании значительных искажений при измерении пульсации давления в нижнем бьефе, которые могут возникнуть в результате вибрации лотка, был предусмотрен ряд мероприятий.

Головное и концевое устройства (см. рис.3) были отделены от лотка резиновыми манжетами с прокладками 10, 15, 21. Сам лоток был выполнен из листовых металлических профилей и опирался посредством колонн 23 на отдельный железобетонный фундамент 24, расположенный значительно ниже пола лаборатории. Поэтому вибрация лотка при пропуске через него расхода практически отсутствовала.

Вибрация, вызванная работой насосных агрегатов лаборатории, была столь незначительна, что на результаты экспериментов не влияла. Большое внимание было уделено созданию жесткой конструкции границ потока, особенно дна нижнего бьефа. Рабочий пол лотка 18 (см. рис.3) был поднят над полом лаборатории на 0,5 м, что давало возможность свободного монтажа датчиков пульсации давления и пьезометров в любой комбинации; этот пол был выполнен из трех блоков органического стекла толщиной 30 мм размерами 60x80 см, укрепленных двадцатью болтами каждый по периметру к массивной жесткой металлической раме. Общая длина пола, образованная блоками из оргстекла, составляла 2 м, что было вполне достаточно для проводимых исследований. Были проведены измерения собственных частот колебаний плит днища лотка в зависимости от уровня нижнего бьефа. Результаты этих исследований представлены на рис.5. Частоты измерялись двумя способами: с помощью датчика вибрации 1ПА-9 и самописца Н338, а также с помощью датчика

ускорения ДУ-5С в комплекте с усилителем ВИБ-6ТН и осциллографом Н117. Собственные колебания плит дна лотка возбуждались ударным единичным импульсом. Датчики крепились по центру плит.

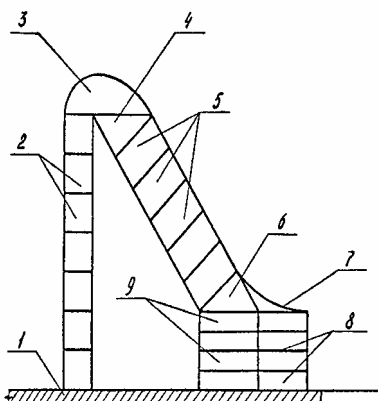


Рис.4. Схема опытной установки. Модель водосливной плотины: 1 - основание; 2 - напорная грань; 3 - оголовок; 4, 6 - верховой и низовой клинья; 5 - водосливно-грань; 7 - блок радиуса сопряжения; 8 - модель водобойной плиты; 9 - блоки высоты уступа; 10 - блоки, согласующие сопряжения

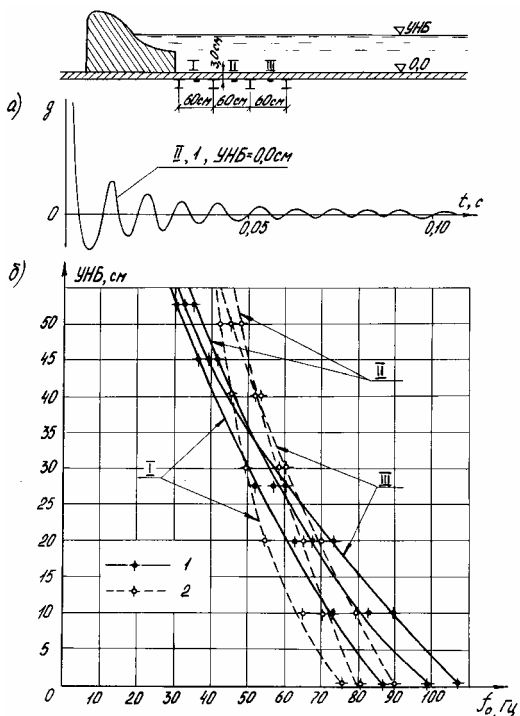


Рис.5. Зависимости собственных частот колебаний плит дна лотка ( $f_0$ ) от уровня нижнего бьефа (УНБ): пример осциллограммы, скорость записи  $V_{осц} = 1000 \text{ мм/с}$  (а); графики зависимости, полученных на измерительной аппаратуре. 1 - датчик 1ПА-9, самописец Н338; 2 - датчик ДУ-5С, усилитель ВИБ-6ТН, осциллограф Н117 (б)

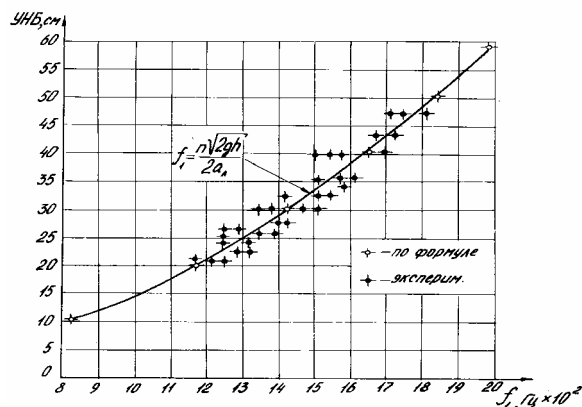
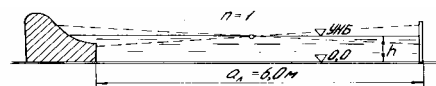


Рис.6. График зависимости частоты собственных колебаний воды в лотке ( $f_1$ ) от уровня нижнего бьефа (УНБ) при числе узлов колебаний для основного тона  $n=1$ : + - экспериментальные точки, \* - по формуле.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Частота колебаний всех трех плит дна лотка при нулевом уровне нижнего бьефа - в диапазоне 70-110 Гц.
2. С ростом глубины нижнего бьефа собственная частота колебаний плит дна лотка уменьшается.
3. Частота колебаний при максимальном уровне нижнего бьефа (50 см), зафиксированном в опытах, находится в диапазоне 30-50 Гц, что на порядок выше верхней частоты процесса, т.е. жесткость дна лотка может быть признана удовлетворительной.

Кроме измерений собственной частоты колебаний плит лотка были осуществлены измерения собственной частоты колебаний воды в лотке, также в зависимости от уровня нижнего бьефа. Результаты приведены на рис.6. Регистрация осуществлялась с помощью струнных волнографов на самописце Н338.

Возбуждение колебаний воды в лотке осуществлялось резким поднятием затвора в конце лотка с одновременным перекрытием задвижек в голове лотка. Это приводило к общей раскатке уровня воды в нижнем бьефе на собственной частоте.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментальные точки хорошо аппроксимируются кривой по зависимости (см. рис. 6), при числе узлов колебаний для основного тона, равном единице.

**СТЕНДЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПУЛЬСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ  
НАГРУЗКИ ОТ ПОТОКА НА КРЕПЛЕНИЕ ЗА ВОДОСБРОСНЫМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ  
СООРУЖЕНИЯМИ**

2. С ростом уровня нижнего бьефа частота собственных колебаний воды в лотке возрастает: при 10 см она равна 0,08 Гц, а при 50 см - 0,18 Гц.

3. Указанные диапазоны частот лежат в пределах фиксируемого в опытах спектра частот, что нужно учитывать при спектральном анализе результатов экспериментов с учетом указанного графика.

**СТЕНД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ВОДОСЛИВНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ (А.С. 1280081 СССР)**

В некоторых экспериментах использовался разработанный автором и защищенный свидетельством стенд для моделирования водосливных гидротехнических сооружений описанный ниже (рис.7).

Цель изобретения - упрощение моделирования. Перед порогом 1 лотка 2 установлена с возможностью вертикального перемещения плита 3 с вертикальной пластиной 4. В плите 3 с возможностью вертикального перемещения установлен подпорный элемент 5. Изменяя высотные положения плиты 3 и элемента 5, можно моделировать различные виды подпорных водосливных сооружений и их сопряжение с нижним бьефом.

Перед порогом 1, выполненным в дне лотка 2, установлена модель водосливного гидротехнического сооружения, которая выполнена в виде горизонтальной плиты 3, вертикальной пластины 4, прикрепленной снизу к задней кромке плиты 3 и взаимодействующей с порогом 1, и подпорного элемента 5, установленного в поперечном щелевом отверстии 6 плиты 3 с возможностью выдвижения.

Плита 3 имеет подъемные приспособления, присоединенные к дну лотка 2 и выполненные в виде винтов 7, расположенных в резьбовых втулках 8.

Передняя часть плиты 3 имеет плавно обтекаемый откос 9, а задняя часть выполнена со скосом и имеет две шарнирно соединенные пластины 10 и 11 с крепежным винтом 12 для изменения угла схода потока воды. К дну лотка 2 и плите 3 шарнирно присоединен упорный винт 13 для прижатия пластины 4 к порогу 1.

Снизу к плите 3 под отверстием 6 прикреплена ниша 14 для размещения подпорного элемента 5.

Подпорный элемент 5 имеет резьбовое отверстие 15, в которое пропущен винт 16, прикрепленный с возможностью поворота к дну ниши 14.

Головки винтов 7 и 16 утоплены соответственно в плите 3 и элементе 5 и залиты легко удаляемой при необходимости гидрозамазкой 17.

Отверстие 6 плиты 3 при полностью убранном подпорном элементе 5 перекрыто поворотной крышкой 18, а при выдвинутом элементе 5 место его сопряжения с плитой 3 перекрывается съемным блоком 19 криволинейной формы.

Стенд работает следующим образом. Перемещая винтами 7 и 16 плиту 3 и подпорный элемент 5, устанавливают их в требуемые положения, моделируя водослив с широким порогом, плотину без колодца, плотину с колодцем, плотину с носком.

Заливают головки винтов 7 и 16 замазкой и пускают а лоток 2 воду. Производят требуемые наблюдения и измерения.

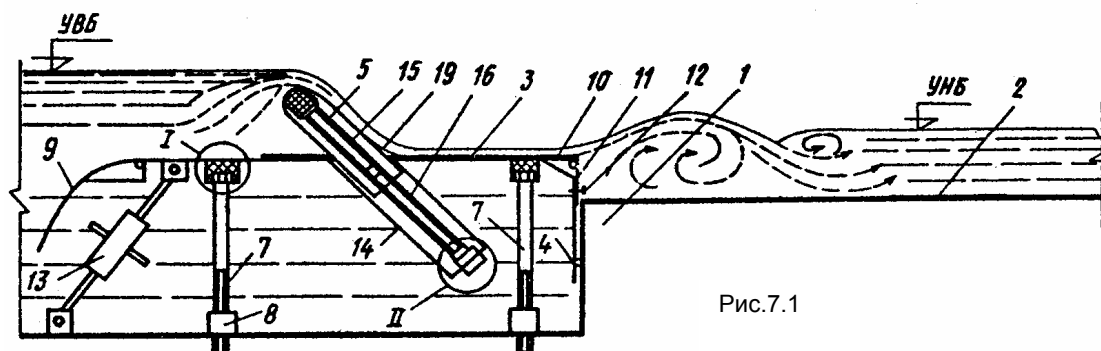


Рис.7.1

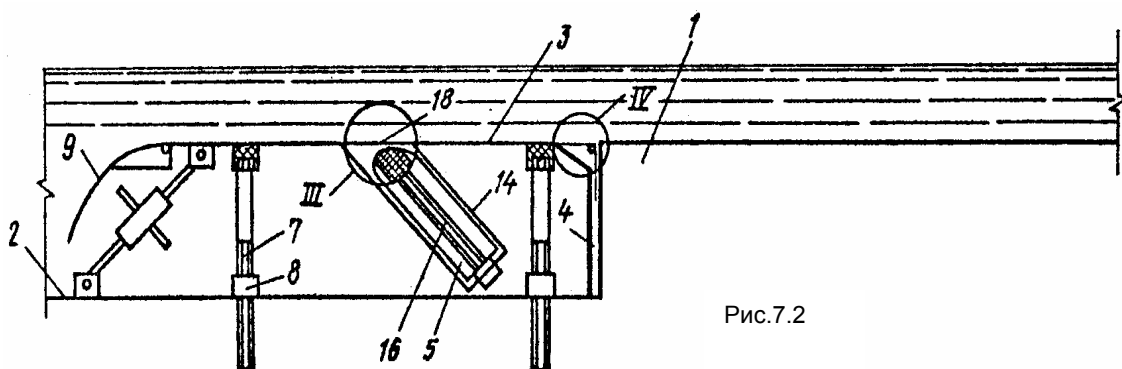


Рис.7.2

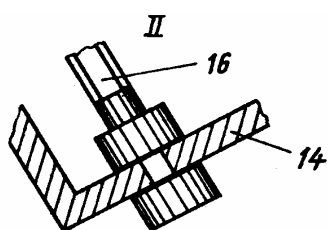


Рис.7.5

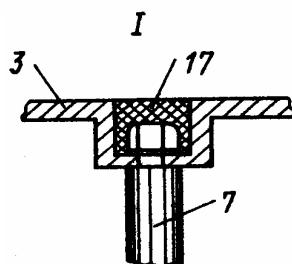


Рис.7.3

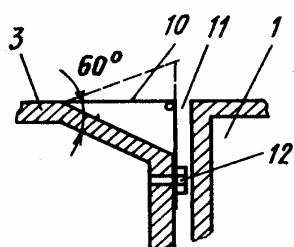


Рис.7.6

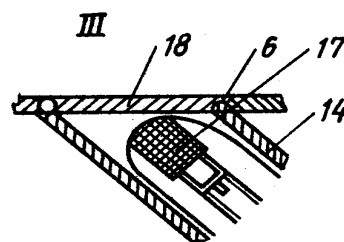


Рис.7.4

Рис.7. Стенд для моделирования водосливных гидротехнических сооружений (А.с. 1280081 СССР)

**СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОТОКА  
СО СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩЕЙ СТЕНКОЙ  
(А.С. 1518434 СССР)**

В некоторых экспериментах использовался разработанный автором и защищенный свидетельством стенд для моделирования водосливных гидротехнических сооружений описанный ниже (рис.8).

Изобретение относится к модельным исследованиям гидротехнических сооружений, а именно к стендам для моделирования струенаправляющих стенок. Цель изобретения - упрощение эксплуатации при исследовании русла с со струенаправляющей стенкой. В лотке 1 установлена гибкая упругая пластина 2 с продольной направляющей 3.

Анкеры 5 с гайками 6 и 7 установлены в прорези 4 борта лотка 1 и соединены с направляющей 3 пластины 2 посредством захватов, имеющих возможность поворота относительно анкеров 5 и передвижения вдоль направляющей 3. Изменяя положение гаек 6 и 7 на анкерах 5, т.е. выдвигая или вдвигая анкеры 5 в прорезь 4, придают пластине 2 требуемое очертание. При этом захваты анкеров 5 передвигаются вдоль направляющей 3 и поворачиваются в горизонтальной плоскости. После фиксации захватов болтом в лоток 1 пускают поток воды и проводят исследование воздействия пластины 2 на поток воды. На дне лотка 1 установлена упругая вертикальная пластина 2 с



**СТЕНДЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПУЛЬСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ  
НАГРУЗКИ ОТ ПОТОКА НА КРЕПЛЕНИЕ ЗА ВОДОСБРОСНЫМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ  
СООРУЖЕНИЯМИ**

продольной Т-образной направляющей 3, обращенной к продольной прорези, выполненной в борту лотка 1. В прорези 4 установлены горизонтальные анкеры 5 с захватами на концах и гайками 6 и 7, расположенными по обе стороны борта лотка 1. Захват выполнен в виде корпуса 8, крышки 9 и вертикального установочного болта 10 с гайкой 11, скрепляющих крышку 9 с корпусом 8. Захваты установлены на Т-образной направляющей 3 пластины 2. Каждый анкер 5 выполнен с проушиной 12 на конце, размещенной на установочном болте 10 и прижатой шайбой. Позицией 14 обозначена гидрозамазка, которая герметизирует нижнюю кромку пластины 2 с дном лотка 1 и торцы пластины 2 с бортами лотка 1.

Сначала устанавливают в заданное положение середину пластины 2 с помощью выдвигаемого на требуемое расстояние среднего анкера 5 и последний закрепляют гайками 6 и 7 в прорези 4. Затем придают пластине 2 требуемую конфигурацию, изме-

няя положения остальных анкеров 5 в прорези 4 и закрепляя их на стенке лотка 1 гайками 6 и 7. При этом захваты поворачиваются относительно анкеров 5 на болтах 10 и передвигаются по Т-образной направляющей 3. После этого фиксируют захваты на направляющей 3 посредством болтов 10 и гаек 11 и уплотняют зазоры между кромками пластины 2, дном и стенками лотка 1 гидрозамазкой 14. В лоток 1 пускают воду и проводят исследование воздействия стенки на поток русла.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вышеописанные стенды, созданные автором, повторены и усовершенствованы им в 1995г. в лаборатории ГТС АлтГТУ на каф. ТГи ВВ и позволяют оперативно без значительных трудозатрат перестраивать модели исследуемых конструкций добиваясь высокоточных измерений.

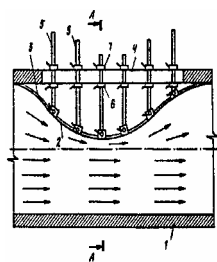


Рис. 8.1

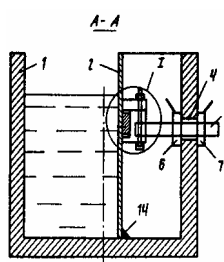


Рис. 8.2

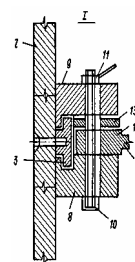


Рис. 8.3