

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНЦЕВОГО УЧАСТКА НАПОРНОГО ВОДОПРОПУСКНОГО СООРУЖЕНИЯ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ВЫХОДОМ ПОТОКА

*Михайлец Дмитрий Петрович, аспирант кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, mihaylets.d.p(a)yandex.ru*

**Аннотация:** *Исследованы несколько вариантов конструкций концевого участка напорного водопропускного сооружения с вертикальным выходом потока, позволяющих обеспечить стабильный напорный режим в водоводе. По результатам экспериментальных исследований и расчетов определены общие потери напора и коэффициенты гидравлического сопротивления концевого участка.*

**Ключевые слова:** *концевой участок, вертикальный выход потока, напорное водопропускное сооружение, гидравлическое сопротивление, коэффициент расхода.*

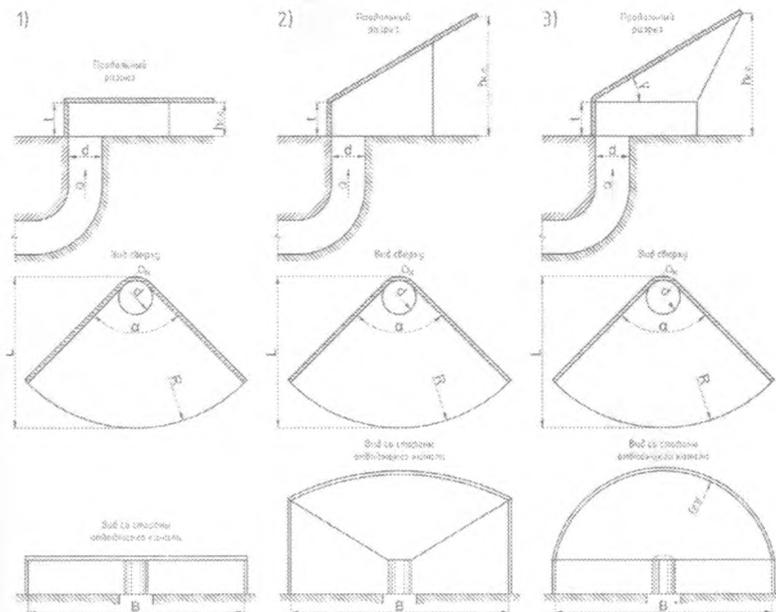
Известно, что работа напорных водопропускных сооружений зависит, прежде всего, от расположения входной и выходной частей относительно уровней воды в бьефах. Считается, что для обеспечения напорного режима водовода нужно, чтобы его выходная часть была затоплена.

Важным для обеспечения стабильности напорного режима движения потока является достаточное заглубление входного отверстия водовода под уровень верхнего бьефа, что предотвращает захват воздуха через вихревые воронки. Последнее может привести к формированию «пробкового» режима движения потока с возникновением часто весьма больших динамических нагрузок на облицовку водовода.

Условием существования стабильного напорного режима водопропускного сооружения является превышение пропускной способности входного участка водосброса над пропускной способностью транзитной и концевой его частей, так как в противном случае течение в водоводе будет неустойчивым.

Предъявляемым выше требованиям полностью отвечают конструкции концевого участка с вертикальным выходом потока, т.к. выходная часть водовода всегда будет затоплена. Для определения пропускной способности таких конструкций исследовались следующие варианты концевого участка:

- свободное фонтанирование;
- плоский горизонтальный сектор-отражатель (ПГС) [1];
- плоский наклонный сектор-отражатель (ПНС) [2];
- изогнутый сектор-отражатель (ИС).



**Рис. 1** Исследуемые конструкции:

- 1 - плоский горизонтальный сектор-отражатель; 2 - плоский наклонный сектор-отражатель; 3 - изогнутый сектор-отражатель

На модельной установке для каждого из вариантов измерялся уровень воды в верхнем и нижнем бьефе водопроточного сооружения при постоянных расходах.

Для нахождения гидравлического сопротивления применялась следующая формула определения расхода:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

где:  $\mu$  - коэффициент расхода;

$\omega$  - площадь поперечного сечения водовода;

$g$  - ускорение свободного падения;

$H$  - напор, действующий на сооружение.

Из уравнения (1) был выражен коэффициент расхода:

$$\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gH'}}$$

куда подставлены полученные величины напора при заданных расходах.

Коэффициент расхода учитывает гидравлические сопротивления на всём протяжении водопропускного тракта и рассчитывается по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \xi_{\text{мест}} + \sum \xi_{\text{дл}}}} \quad (2)$$

Для определения местных потерь и потерь напора по длине была составлена расчётная схема водопропускного сооружения (рисунок 2).

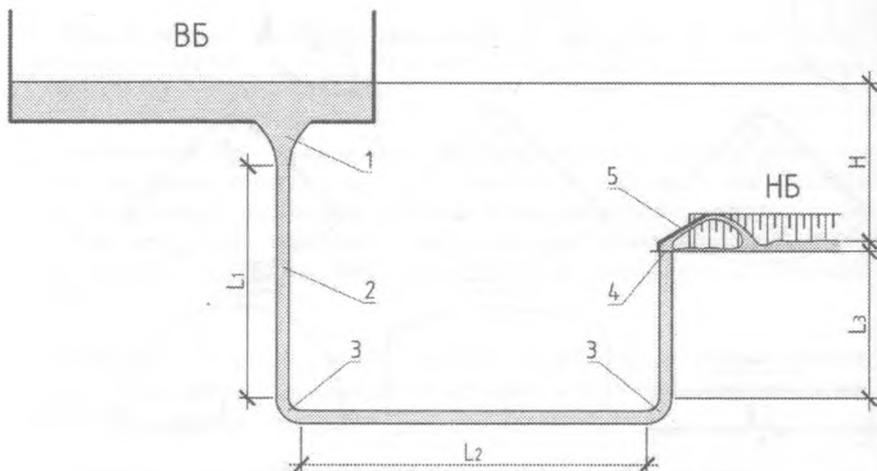


Рис. 2 Расчётная схема для определения коэффициента расхода:  
 1 - входной оголовок в виде шахтного водослива; 2 - транзитная часть водовода; 3 - плавные повороты на 90 градусов; 4 - выходное сечение водовода; 5 - конечной участок

Таким образом, в нашем случае сумма местных сопротивлений будет равна:

$$\sum \xi_{\text{мест}} = \xi_{\text{вх}} + 2\xi_{\text{пов}} + \xi_{\text{вых}} \quad (3)$$

где:  $\xi_{\text{вх}}$  - сопротивление на плавный вход потока;

$\xi_{\text{пов}}$  - сопротивление на плавный поворот на 90 градусов;

$\xi_{\text{вых}}$  - сопротивление конечного участка (на выход потока).

С учётом выражения (3) уравнение (2) примет вид:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi_{вх} + 2\xi_{пов} + \sum \xi_{дл} + \xi_{вык}}}$$

Из уравнения (2) выражено:

$$\xi_{вык} = \frac{1}{\mu^2} - \alpha\xi_{вх} - 2\xi_{пов} - \xi_{дл}$$

Подставив значения коэффициентов из справочника по гидравлическим расчётам [3] в полученное уравнение, определены искомые величины гидравлического сопротивления концевой участка для всех указанных вариантов конструкций.

Средние значения  $\mu$  и представлены в таблице.

*Таблица*

**Средние значения коэффициента расхода и общего гидравлического сопротивления концевой участка**

| Наименование конструкции | $\mu$  | $\xi$  |
|--------------------------|--------|--------|
| Свободное фонтанирование | 0,7365 | 0,4181 |
| ПГС $t/d=0,50$           | 0,6764 | 0,7455 |
| ПГС $t/d=0,75$           | 0,6787 | 0,7603 |
| ПГС $t/d=1,00$           | 0,6860 | 0,6994 |
| ПНС $t/d=0,00$           | 0,6441 | 0,9852 |
| ПНС $t/d=0,50$           | 0,7087 | 0,5655 |
| ПНС $t/d=0,75$           | 0,7104 | 0,5560 |
| ПНС $t/d=1,00$           | 0,7236 | 0,4843 |
| ИС $t/d=0,00$            | 0,6701 | 0,8016 |
| ИС $t/d=0,50$            | 0,7199 | 0,5042 |
| ИС $t/d=0,75$            | 0,7162 | 0,5239 |
| ИС $t/d=1,00$            | 0,7290 | 0,4560 |

Как видно, из таблицы наименьшие потери напора имеет концевой участок со свободным фонтанированием, наибольшие - плоский горизонтальный сектор-отражатель. С увеличением высоты расположения сектора над выходным отверстием водовода увеличивается коэффициент расхода и уменьшаются гидравлическое сопротивление. Потери при использовании плоского наклонного сектора и изогнутого сектора с относительной высотой  $t/d = 1,0$  минимальны и близки к потерям, полученным при свободном фонтанировании. Таким образом, можно сделать вывод о том, что увеличение высоты расположения сектора нецелесообразно для гашения энергии потока.

Проведённые исследования показали, что гидравлическое сопротивление концевой участка больше, чем на входе в водовод, и, следовательно,

стабильность напорного режима в водоводе будет обеспечена во всём диапазоне расходов.

### **Библиографический список**

1. Пат. 2341616 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> E02B8/06. Концевой участок раструбного типа напорного водопропускного сооружения с вертикальным выпуском воды/Бахтин Б.М., Кузнецова С.Г.; Заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Московский государственный университет природообустройства (МГУП). - №2006147134/03; заявл. 29.12.2006; опубл. 20.12.2008, Бюл.№ 35.

2. Пат. на полезную модель 103814 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> E02B8/06. Концевой участок раструбного типа с наклонно закрепленным отражающим сектором напорного водовода с вертикальным выпуском воды/Бахтин Б.М., Кузнецова С.Г.; Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет природообустройства". - № 2010105721/21, заявл. 19.02.2010; опубл. 27.04.2011, Бюл. № 12.

3. Справочник по гидравлическим расчетам. Под редакцией П.Г. Киселёва. Изд. 4-е, переработ. и доп. М., «Энергия», 1972. - 312 с.