

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-1>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/122TVN115.pdf>

DOI: 10.15862/122TVN115 (<http://dx.doi.org/10.15862/122TVN115>)

**УДК 626-31**

**Животовский Борис Анатольевич**

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»  
Россия, Москва<sup>1</sup>

Профессор кафедры гидравлики и гидротехнических сооружений  
Доктор технических наук  
E-mail: [zbarudn@yandex.ru](mailto:zbarudn@yandex.ru)

**Пономарев Николай Константинович**

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»  
Россия, Москва

Декан инженерного факультета  
Заведующий кафедрой гидравлики и гидротехнических сооружений  
Кандидат технических наук  
Профессор  
E-mail: [rudneng@mail.ru](mailto:rudneng@mail.ru)

## **Сопряжение шахтных водосбросов с нижним бьефом в условиях высоких напоров**

---

<sup>1</sup> 117198, ул. Миклухо-Маклая, д.6

**Аннотация.** В настоящее время в практике гидротехнического строительства напоры гидроузлов возрастают и достигли  $H = 250-300$  м. При таких напорах скорость потока, выпускаемого в нижний бьеф достигает 50-60 м/с. И как следствие осложняются технические проблемы сопряжения с нижним бьефом, решение которых требует новых подходов. К числу основных проблем относятся: защита русла реки и береговых склонов от обрушения и защита обтекаемой бетонной поверхности от кавитации. Для оценки условий обтекания принимается гипотеза о том, что если в осевом напорном течении в отводящем водоводе на каждую частицу жидкости будет дополнительно действовать центробежная массовая сила, обусловленная вращением потока относительно оси водовода, то это приведет к существенным структурным изменениям течения. В результате поток приобретет следующие свойства: положительный радиальный градиент давления в поперечном сечении, повышенное гидравлическое сопротивление в отводящем водоводе; и уменьшение абсолютной скорости вдоль оси водовода вследствие затухания закрутки.

При компоновке вихревого водосброса, в составе гидроузла с выпуском струи под уровень, могут встретиться следующие основные схемы, классифицируемые по условиям выпуска струи: Схема I Струя выпускается в отводящий канал, соединяющий вихревой водосброс с руслом реки. Струя в этой схеме может рассматриваться как затопленная в неподвижном пространстве (рис. 5). Схема II Струя выпускается непосредственно в реку со скоростью потока в реке, направление которого совпадает с направлением струи. Струя в этой схеме может рассматриваться как струя в спутном потоке. Схема III Струя выпускается непосредственно в реку, а направление течения перпендикулярно направлению выпускаемой струи. Струя в этой схеме может рассматриваться как струя в сносящем потоке. Схема IV Струя выпускается непосредственно в реку, направление скорости составляет с направлением оси струи некоторый угол  $0 < \theta < 90^\circ$ . Струя в этой схеме может рассматриваться, также как и в предыдущем случае, как струя в сносящем потоке.

**Ключевые слова:** вихревой водосброс; сопряжение бьефов в гидротехнических сооружениях; закрутка потока; компоненты скорости движения потока; число Хигера-Бэра; параметры закрутки потока; расход воды.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Животовский Б.А., Пономарев Н.К. Сопряжение шахтных водосбросов с нижним бьефом в условиях высоких напоров // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/122TVN115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/122TVN115

В настоящее время в практике гидротехнического строительства напоры гидроузлов возрастают и достигли  $H = 250-300$  м. При таких напорах скорость потока, выпускаемого в нижний бьеф достигает 50-60 м/с. И как следствие осложняются технические проблемы сопряжения с нижним бьефом, решение которых требует новых подходов.

К числу основных проблем относятся:

- защита русла реки и береговых склонов от обрушения;
- защита обтекаемой бетонной поверхности от кавитации.

Первая проблема может быть решена путем гашения избыточной кинетической энергии внутри водовода с выпуском потока в нижний бьеф с допустимой скоростью, которая обычно составляет  $V_{дон}=20-25$  м/с. Для реализации этого условия необходимо знание механизма регулирования уровня гидравлического сопротивления в отводящем водоводе шахтного водосброса, т.е. механизма трансформации коэффициента гидравлического сопротивления  $\zeta$ .

Для решения второй проблемы воспользуемся существующей методикой оценки кавитационных условий, согласно которой кавитация отсутствует, если

$$K_{KAB} > K_{KP}, \quad (1)$$

где:  $K_{кав}$  – параметр кавитации;  $K_{кр}$  – критический параметр кавитации (зависит от формы неровности бетонной поверхности и интенсивности закрутки).

Параметр кавитации  $K_{кав}$  определяется из выражения

$$K_{KAB} = \frac{P_R + P_{AT} - P_{ПЖ}}{\frac{\rho V_{ХАП}^2}{2}}. \quad (2)$$

Здесь:  $P_{AT}$  – атмосферное давление на отметке нижнего бьефа;  $P_{ПЖ}$  – давление насыщенных паров жидкости;  $P_R$  – давление на стенке водовода;  $V_{хав}$  – характерная скорость у стенки на высоте выступа. В качестве характерной скорости можно принять полную скорость у стенки  $V_R$ .

$$V_{ХАП} = V_R. \quad (3)$$

При осевом напорном течении скорости вдоль трубы не изменяются.

$$V_{ХАП} = V_R = V_m = Const. \quad (4)$$

Здесь  $V_m$  – продольная компонента скорости у стенки на высоте выступа.

Из выражения (2) видно, что для обеспечения безкавитационных условий работы шахтных водосбросов необходимо чтобы величина  $K_{кав}$  была больше, что достигается при большем давлении у стенки  $P_R$  и меньшей скорости  $V_{хав}$ .

Для оценки условий обтекания примем гипотезу о том, что если в осевом напорном течении в отводящем водоводе на каждую частицу жидкости будет дополнительно действовать центробежная массовая сила, обусловленная вращением потока относительно оси водовода, то это приведет к существенным структурным изменениям течения. В результате поток приобретет следующие свойства:

- положительный радиальный градиент давления в поперечном сечении;
- повышенное гидравлическое сопротивление в отводящем водоводе;

- уменьшение абсолютной скорости вдоль оси водовода вследствие затухания закрутки.

Такое течение будет называться продольно-циркуляционным, водосброс с подобным течением – вихревым шахтным водосбросом. Отметим, что принятая гипотеза имеет экспериментальное подтверждение и близка к действительности. Гидравлическое сопротивление в продольно-циркуляционном течении зависит от интенсивности закрутки и намного больше чем при осевом течении.

На рис.1 представлена зависимость  $\varphi = \zeta/\zeta_0 = f(\Pi)$ , где  $\zeta$  и  $\zeta_0$  – коэффициенты гидравлического сопротивления при продольно-циркуляционном и осевом течениях [4].

Из рисунка видно, что в пределах рабочего диапазона изменения начальной закрутки  $0,6 \leq \Pi \leq 0,8$  гидравлические сопротивления в продольно-циркуляционном течении в 5 – 20 раз больше.

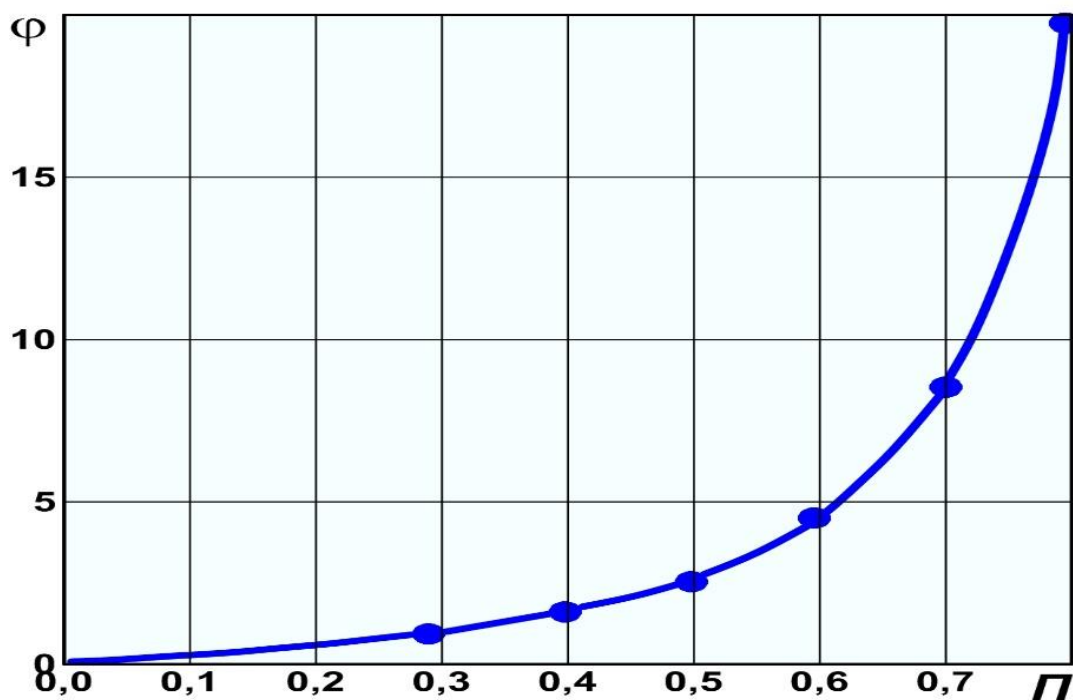


Рис.1. Зависимость  $\varphi = f(\Pi)$  (разработано авторами)

В качестве меры интенсивности закрутки используем параметры закрутки  $\Pi = \tau_w/\tau$  или число Хигера-Бэра  $S_n = B/FR$ , где  $\tau_w$ ,  $\tau$  – касательные напряжения поверхностного трения и его тангенциальная компонента,  $B$  – осевая компонента потока момента количества движения,  $F$  – осевая компонента потока полного количества движения,  $R$  – радиус трубы. Связь между этими параметрами (для автомоделльной области  $lgRe \geq 5,8$ ) представлена на рис.2.

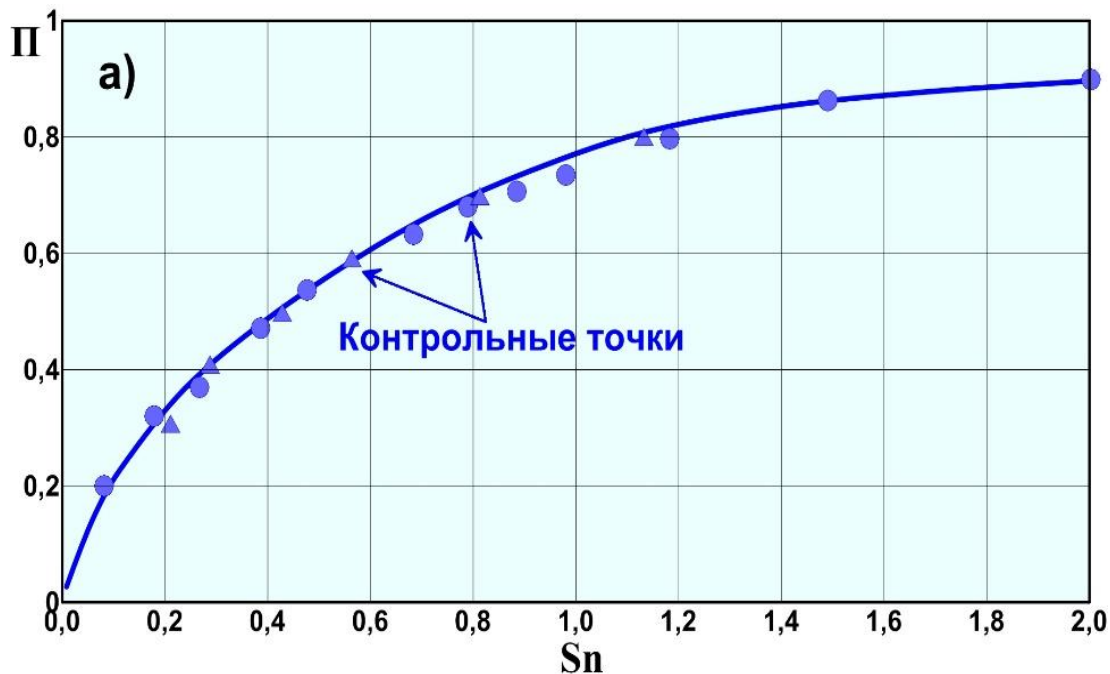


Рис.2. Взаимосвязь параметров закрутки  $\Pi = f(S_n)$  (разработано авторами)

Рассмотрим распределение избыточного давления в поперечном сечении продольно-циркуляционного течения. Согласно экспериментальным данным [5] оно зависит от степени закрутки  $\Pi$  и непрерывно возрастает вдоль радиуса, достигая максимума на стенке трубы (рис.3).

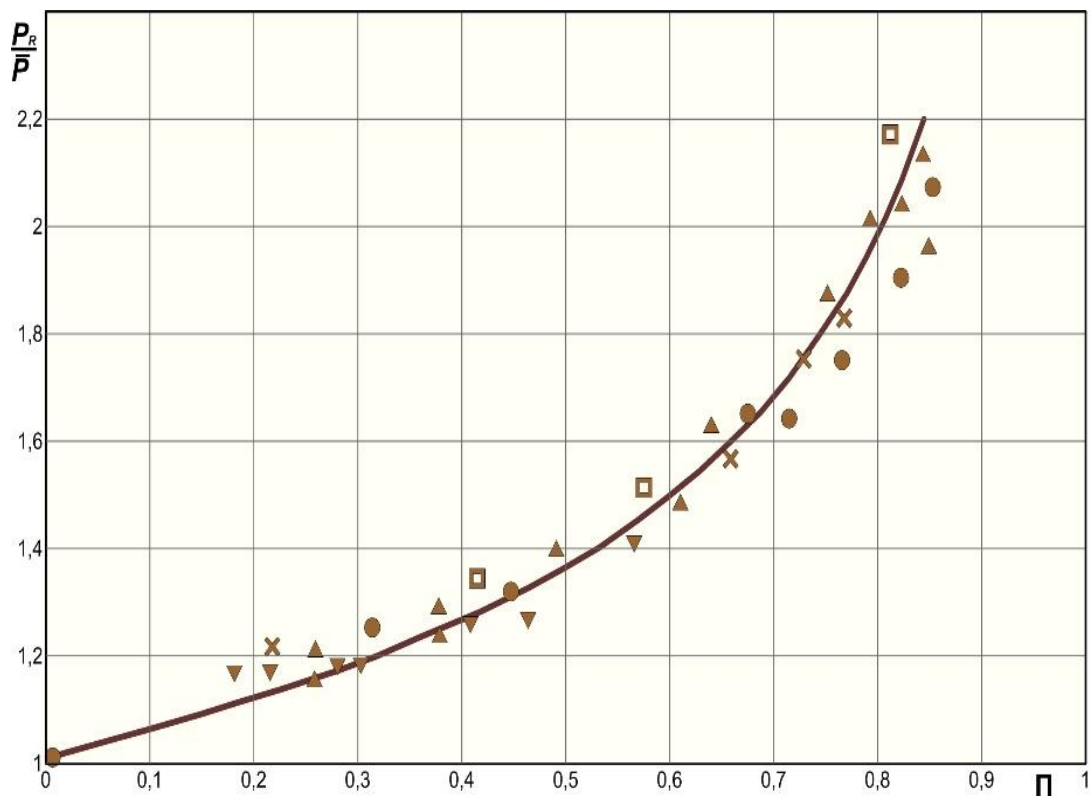


Рис.3. Относительное давление на стенке  $\Pi = f(P_R/P)$  (разработано авторами)



Таким образом, течение рассматриваемое на основе принятой гипотезы стало обладать новыми полезными «свойствами», которые были использованы для решения технических проблем применительно к высоконапорным вихревым шахтным водосбросам.

Сопряжение потока с нижним бьефом на выходе из вихревого водосброса может осуществляться путем выпуска под уровень или отбросом закрученной струи. Вопросы сопряжения струи (с остаточной закруткой) с нижним бьефом разработаны недостаточно.

При сопряжении под уровень гидравлические характеристики расширяющейся закрученной струи могут быть определены на основе теоретического решения, приводимого в [7,8]. Эти характеристики требуются для оценки взаимодействия потока с руслом нижнего бьефа.

Остаточная закрутка на выходе из вихревого водосброса обычно невелика и составляет значение  $P=0,1-0,35$ , что позволяет отнести выпускаемую струю к классу слабо закрученных струй, для таких струй имеется теоретическое решение [7,8].

По значению параметра  $P$  на выходе из отводящего водовода можно определить профили осевой и окружной скорости в начальном сечении струи, которые необходимы для задания граничных условий. Продольная средняя скорость в отводящем водоводе или в начальном сечении струи принимается, по условиям работы вихревого водосброса, в пределах  $V=20-25$  м/сек, подсчитанная по площади поперечного сечения на выходе из отводящего водовода. Профили продольной и окружной скорости в начале струи остаются теми же, что и на выходе из отводящего водовода. Давление (в горизонтальной плоскости) вследствие закрутки уменьшается по радиусу от периферии к оси канала, как в водоводе так и в струе, за пределами которой давление постоянно.

При компоновке вихревого водосброса, в составе гидроузла с выпуском струи под уровень, могут встретиться следующие основные схемы, классифицируемые по условиям выпуска струи:

**Схема I** Струя выпускается в отводящий канал, соединяющий вихревой водосброс с руслом реки. Струя в этой схеме может рассматриваться как затопленная в неподвижном пространстве (рис. 5).

**Схема II** Струя выпускается непосредственно в реку со скоростью потока в реке, направление которого совпадает с направлением струи. Струя в этой схеме может рассматриваться как струя в спутном потоке.

**Схема III** Струя выпускается непосредственно в реку, а направление течения перпендикулярно направлению выпускаемой струи. Струя в этой схеме может рассматриваться как струя в сносящем потоке.

**Схема IV** Струя выпускается непосредственно в реку, направление скорости составляет с направлением оси струи некоторый угол  $0 < \theta < 90^\circ$ . Струя в этой схеме может рассматриваться, также как и в предыдущем случае, как струя в сносящем потоке.

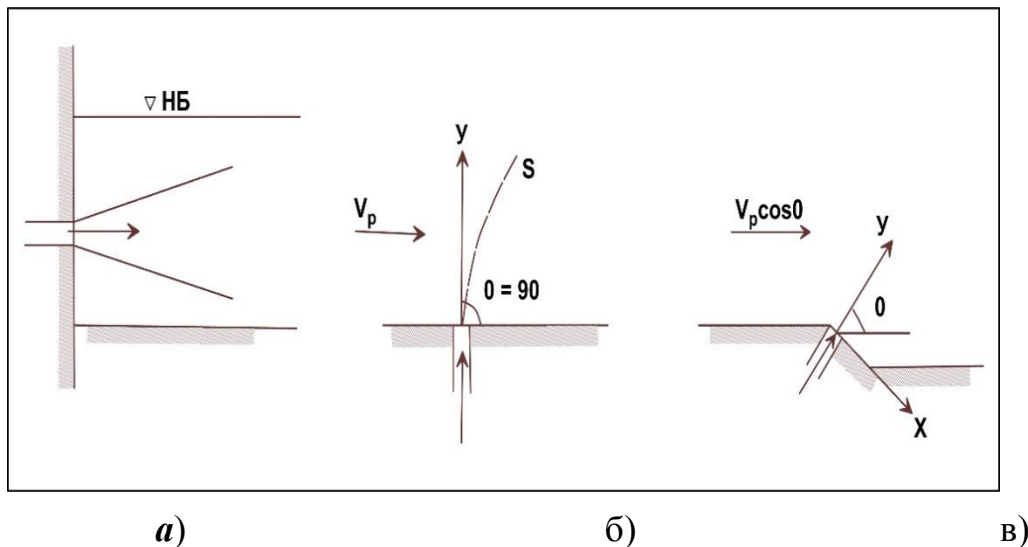


Рис.5. Схемы выпуска струи: а) – Схема I; б) – Схема III; в) – Схема IV  
(разработано авторами)

Заметим, что задача расчета гидравлических характеристик закрученной струи, выпускаемой под уровень нижнего бьефа, является достаточно сложной, кроме того, существенно зависит от схемы сопряжения выпускаемой струи с речным потоком. Имеющиеся теоретические решения дают приемлемые результаты, начиная с определенного расстояния от выходного сечения водовода (обычно 10-12 диаметров канала), в то время как для оценки гидравлических условий при сопряжении струи с нижним бьефом, а также для оценки воздействий на русло реки необходимо знать гидравлические характеристики струи именно на этом начальном участке длиной (10-12) диаметра канала.

Важным вопросом является оценка динамических условий на выходе из водосброса при сопряжении под уровень. Заметим, что в конце отводящего водовода поток имеет незначительную остаточную закрутку ( $\Pi < 0,35$ ), которая играет положительную роль, повышая давление на стенке на наиболее опасном в кавитационном отношении участке водовода. Однако при выпуске закрученной струи под уровень могут возникнуть повышенные динамические нагрузки на выходном участке водосброса, связанные с потерей устойчивости закрученного потока.

Под потерей устойчивости потока будем понимать переход одной формы движения в другую. Экспериментальные данные [5] подтвердили предположение, что при определенных условиях (критическом уровне затухания закрутки) спиральный вихрь, развиваясь вдоль трубы, терял стационарность, начинал вращаться вместе с потоком и тут же распадался на отдельные бесформенные вихревые образования. Очевидно, что этому переходу соответствует определенное состояние потока. Имелись основания предполагать, что оно может интегрально характеризоваться параметром закрутки  $\Pi$  и числом Рейнольдса. Для проверки высказанных предположений был проведен эксперимент при различной начальной закрутке и для ряда чисел Рейнольдса  $Re$  от  $1,1 \times 10^4$  до  $4,24 \times 10^5$  при двух диаметрах водовода. В результате выявлены границы различных форм движения закрученного потока, а именно: 1) переход от прямолинейного к спиральному вихрю и 2) распад спирального вихря. Переход от одной формы движения происходит при определенных критических значениях параметра  $\Pi$  независимо от числа Рейнольдса; переход от прямолинейного к спиральному вихрю происходит при значении  $\Pi=0,55$ , распад спирального вихря – при  $\Pi=0,26$ .

Распад вихря может происходить как в трубе, так и в струе, и после выхода из трубы в бьефе. В работе [5] рассматривается распад вихря. В качестве меры интенсивности закрутки при распаде вихря принимается параметр  $S_{кр}$ .

$$S_{кр} = \frac{2V_{\theta}}{V_x}, \quad (6)$$

где  $V_{\theta}$  – тангенциальная скорость на входе в струю на радиусе входа  $R/2$ ;  $V_x$  – осевая скорость на оси на входе в трубу.

Используя таблицу для критических значений параметра  $S_{кр}$ , характеризующего состояние и распад вихря [3,9], установим связь между  $S_{кр}$  и другими параметрами закрутки (таблица 1).

**Таблица 1**

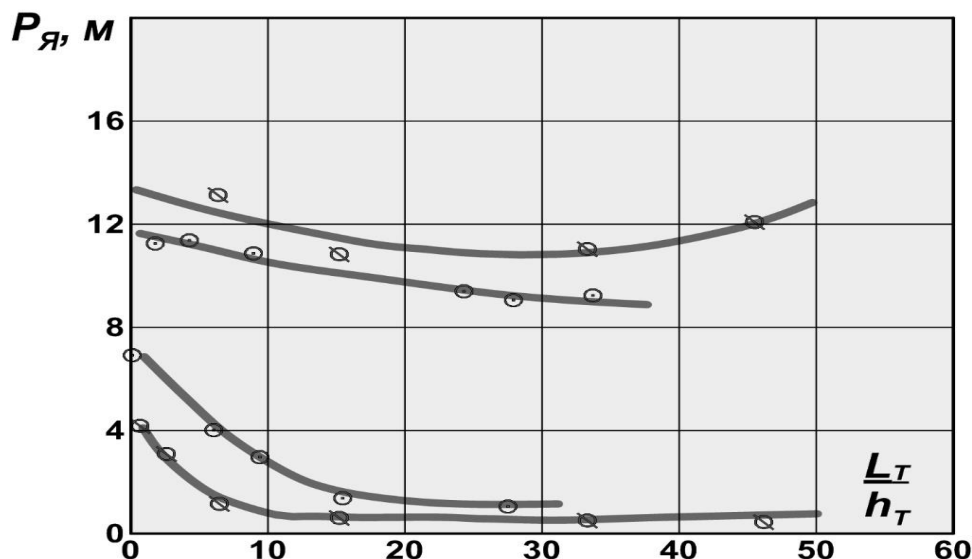
**Взаимосвязь параметра  $S$ ,  $\Pi$ ,  $Ro$ . (составлена авторами)**

$S_{кр}$	$tg\theta (\alpha)$	$\Pi$	$Ro$	$1/Ro$
1,33	0,66	0,55	0,7	1,43
1,08	0,54	0,54	0,69	1,45
0,92	0,46	0,4	0,32	3,12
0,68	0,34	0,32	0,31	3,23
0,33	0,165	0,16	0,16	6,25

Интересно отметить, что в исследованиях [4,5] потеря устойчивости (распад вихря), т.е. переход от прямолинейного вихря к спиралеобразной структуре в трубе происходила при  $\Pi=0,55$ , что соответствует критическому значению параметра закрутки по формуле (6)  $S_{кр}=1,33$  для распада прямолинейного вихря, т.е. переходу к спиралевидному вихрю.

В работе [6,7] показано, что интенсивные пульсации давления наблюдаются при большой закрутке на выходе, которая соответствует углу установки лопаток закручивающего устройства (вихревого затвора)  $\beta > 30-35^\circ$ , что в свою очередь соответствует параметру закрутки  $\Pi > 0,65-0,7$ . Так как параметр закрутки в конце отводящего водовода всегда меньше указанного значения, то ожидать появления повышенных динамических нагрузок на выходе из водосброса не следует.

В экспериментах автора [5] с незначительной остаточной закруткой ( $\Pi \leq 0,4$ ) условия на выходе также были спокойными; вибраций экспериментального стенда не наблюдалось. Можно сделать вывод, что затопление выходного портала отводящего туннеля приводит к стабилизации гидравлических режимов в нижнем бьефе и, обычно, исключает возможность формирования опасных форм сопряжения потоков. На гидравлических моделях вихревого водосброса, выполненного в масштабах 1:60 и 1:120 применительно к условиям гидроузла Тери в Индии были проведены исследования вихревого водосброса с затопленным выходом отводящего туннеля подковообразной формы. Как показали эксперименты [3], работа в эксплуатационных режимах с водовоздушной подушкой в шахте приводит к изменению процесса воздухозахвата в шахте, который, в свою очередь, сказывается на условиях работы отводящего туннеля и на основных кинематических характеристиках потока. Затопленный режим работы водосброса приводит к существенному увеличению давления в ядре закрученного потока (рис.6), что меняет геометрические характеристики закрученного потока (диаметр ядра, толщину водяного кольца), а, следовательно, и его кинематические характеристики.



**Рис.6.** Распределение давления в ядре по длине туннеля в зависимости от затопления нижнего бьефа при расчетном расходе (разработано авторами)

Кроме этого, при затоплении выхода возрастают давления на стенки туннеля, что уменьшает опасность возникновения кавитации за неровностями бетонной отделки туннеля.

При работе вихревого водосброса в эксплуатационном режиме с водухозахватом в шахте для обеспечения оптимальных условий водосброса необходимо соединять вихревой жгут с атмосферой, а также обеспечить отвод воздуха в конце туннеля.

Отметим также, что это течение в сочетании с компоновкой вихревого водосброса позволяет:

- решить проблему размещения гидроузла в условиях узких стесненных створов путем использования строительных туннелей в качестве отводящих водоводов вихревых водосбросов на последующий период эксплуатации;
- снизить уровень вибрации скального массива за счет рассредоточенного гашения энергии потока по всей длине отводящего водовода.

В качестве примера, подтверждающего принятую гипотезу, можно рассматривать построенный гидроузел с вихревыми водосбросами гидроузел Тери (Индия) с напором  $H=220$  м. В комплекс водосбросных сооружений входят 4 вихревых водосброса с пропускной способностью  $Q=1800\text{ м}^3/\text{с}$  каждый. Строительные туннели используются в качестве отводящих водоводов. Первый опыт эксплуатации вихревых водосбросов позволяет положительно оценить новые инженерные решения [2] и дает оптимистическую оценку перспективам их использования при создании высоконапорных гидроузлов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов В.К. Структура и гидродинамическая устойчивость закрученных потоков с зонами рециркуляции, М., 2009 МГСУ.
2. Волшаник В.В., Зуйков А.Л., Мордасов А.П. Закрученные потоки в гидротехнических сооружениях. М., Энергоиздат, 1990
3. Волшаник В.В. Гидравлические характеристики вихревых устройств в гидротехнике, гидроэнергетике и инженерной гидроэкологии. Дис. ...докт.техн. наук. М., 1997.
4. Животовский Б.А. Водосбросные и сопрягающие сооружения с закруткой потока, М., Изд-во РУДН, 1995.
5. Животовский Б.А. Экспериментальные исследования закрученных потоков жидкости. М.:Изд. РУДН 1982.
6. Зуйков А.Л. Динамика вязких циркуляционных течений в трубах и поверхностных воронках, Дис. ... докт. техн. наук, М., 2009.
7. Зуйков А.Л., Волшаник В.В. Аналитическое исследование структуры потока вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе. М., Изд. МГСУ, 2001.
8. Лойцянский Л.Г. Распространение закрученной струи в безграничном пространстве, затопленном той же жидкостью // Прикладная математика и механика. АН СССР [ОТН]. Т.17. 1953, С. 3 – 16.
9. Зуйков А.Л. Гидродинамика циркуляционных течений издательство Ассоциации строительных вузов, М.: 2010, с.216.
10. Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Волшаник В.В. Модель течения Громеки-Бельтрами. «Вестник МГСУ». 2013. №4. с. 150-159.
11. Волшаник В.В., Карелин В.Я., Зуйков А.Л., Орехов Г.В. Инженерная гидравлика закрученных потоков жидкости. “Гидротехническое строительство ”, 2000, № 11. С. 23-26.
12. Волшаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Чурин П.С. Вихревой водосброс. Патент РФ №2483258. Приоритет изобретения 06.10.2011.
13. Волшаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В. Циркуляционные течения в науке и технике. “Деловая слава России”, 2011, № 2 (30). М.: изд. “Славица”. С. 48-50.

**Рецензент:** Волшаник Валерий Валентинович, профессор, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»).

**Zhivotovski Boris Anatolyevich**  
Peoples' Friendship University of Russia  
Russia, Moscow  
E-mail: [zbarudn@yandex.ru](mailto:zbarudn@yandex.ru)

**Ponomarev Nikolay Konstantinovich**  
Peoples' Friendship University of Russia  
Russia, Moscow  
E-mail: [rudneng@mail.ru](mailto:rudneng@mail.ru)

## Conjugation of mine spillway lower pool under conditions of high pressures

**Abstract.** Currently, the practice of hydraulic engineering, pressure of HPP grow and reached  $H = 250-300$  m. Under such pressure flow velocity discharged into the downstream reaches 50-60 m/s. And as a result are complicated technical problems with interfacing with lower pool, the solution of which requires new approaches. The main problems are: the protection of river and coastal slopes from collapsing and protection streamlined concrete surface against cavitation. To estimate the flow conditions accept the hypothesis that if the pressure in the axial flow in the tailrace on each particle of the liquid will further act centrifugal mass force due to rotation the flow respect to the axis conduit, it will lead to a significant structural change of the flow. As a result, flow has the following properties: a positive pressure gradient in the radial cross-section, increased hydraulic resistance in the tailrace; and a decrease the absolute velocity along the axis of the conduit due to attenuation twist.

At configuration of a vortex spillway, as a part of the water-engineering system with release of a stream under level, the following main schemes classified under the terms of release of a stream can meet: The scheme I Stream is issued to the exhaust channel connecting the vortex spillway to the river bed. The stream in this scheme can be considered as flooded in motionless space (fig. 5). The scheme II Stream is issued directly to the river with a stream speed in the river which direction coincides with the direction of a stream. The stream in this scheme can be considered as a stream in a cocurrent flow. The scheme III Stream is issued directly to the river, and the direction of a current perpendicular to the direction of the let-out stream. The stream in this scheme can be considered as a stream in the taking-down stream. Scheme IV jet is produced directly into the river, the velocity direction is the direction of the jet axis an angle  $0 < \theta < 90^\circ$ . Jet in this scheme can be regarded as in the previous case, as in the entraining jet stream.

**Keywords:** vortex spillway; conjugation of pool in hydraulic engineering constructions; a twisting of a stream; components of speed of the movement of a stream; number of Higer-Ber; parameters of a spin of a stream; a water consumption.

## REFERENCES

1. Akhmetov V.K. Struktura i gidrodinamicheskaya ustoychivost' zakruchennykh potokov s zonami retsirkulyatsii, M., 2009 MGSU.
2. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Mordasov A.P. Zakruchennyye potoki v gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh. M., Energoizdat, 1990
3. Volshanik V.V. Gidravlicheskie kharakteristiki vikhrevykh ustroystv v gidrotekhnike, gidroenergetike i inzhenernoy gidroekologii. Dis. ...dokt.tekhn. nauk. M., 1997.
4. Zhivotovskiy B.A. Vodosbrosnye i sopryagayushchie sooruzheniya s zakrutkoy potoka, M., Izd-vo RUDN, 1995.
5. Zhivotovskiy B.A. Eksperimental'nye issledovaniya zakruchennykh potokov zhidkosti. M.:Izd. RUDN 1982.
6. Zuykov A.L. Dinamika vyazkikh tsirkulyatsionnykh techeniy v trubakh i poverkhnostnykh voronkakh, Dis. dokt. tekhn. nauk, M., 2009.
7. Zuykov A.L., Volshanik V.V. Analiticheskoe issledovanie struktury potoka vyazkoy neshhimaemoy zhidkosti v tsilindricheskoy trube. M., Izd. MGSU, 2001.
8. Loytsyanskiy L.G. Rasprostranenie zakruchennoy strui v bezgranichnom prostranstve, zatoplennoy toy zhe zhidkost'yu // Prikladnaya matematika i mekhanika. AN SSSR [OTN]. T.17. 1953, S. 3 – 16.
9. Zuykov A.L. Gidrodinamika tsirkulyatsionnykh techeniy izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, M.: 2010, s.216.
10. Zuykov A.L., Orekhov G.V., Volshanik V.V. Model' techeniya Gromeki-Bel'trami. «Vestnik MGSU». 2013. №4. s. 150-159.
11. Volshanik V.V., Karelin V.Ya., Zuykov A.L., Orekhov G.V. Inzhenernaya gidravlika zakruchennykh potokov zhidkosti. "Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo ", 2000, № 11. S. 23-26.
12. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V., Churin P.S. Vihrevoy vodosbros. Patent RF №2483258. Prioritet izobreteniya 06.10.2011.
13. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V. Tsirkulyatsionnye techeniya v nauke i tekhnike. "Delovaya slava Rossii", 2011, № 2 (30). M.: izd. "Slavitsa". S. 48-50.