

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЫЖКА ЗА ЗАТВОРОМ В ВОДОВОДЕ ЗАМКНУТОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ НАПОРНОМ ДВИЖЕНИИ ЗА ПРЫЖКОМ

Худайкулов Совет Ишанкулович

д.т.н, Ёджу технический институт, Ташкент

Жураев Хуршидбек Абдирахимович

Старший преподаватель

Узокбоев Хурсанали

Студент, Наманганский инженерно-строительный институт

Камолова Саодат Нигматжановна

Старший преподаватель

Шамсиева Наргис Миравазовна

Преподаватель, Ташкентский архитектурно-строительный институт

ARTICLE INFO.

Ключевые слова: водных масс, кавитационной эрозией, аэрация, Уравнение Бернулли.

Аннотация

Аэрация водных масс широко используется в решении многочисленных задач гидротехнического строительства, очистки сточных вод, улучшения экологического состояния водных объектов, технологии добычи и обогащения полезных ископаемых. Применение аэрации позволяет предотвратить аварийные и катастрофические ситуации на водосбросных гидротехнических сооружениях, турбинном и насосном оборудовании, вызванные кавитационной эрозией материалов и оборудования. Для вывода расчетных зависимостей пользуемся уравнением Бернулли и формулами для расчета расхода воздуха, захватываемого прыжком, пропускной способности воздуховода, коэффициента сжатия из-под затвора, расхода воды, поступающей из-под затвора.

<http://www.gospodarkainnowacje.pl/> © 2023 LWAB.

Введение. Аэрация водных масс широко используется при решении различных технических, хозяйственных и экологических задач. В связи с этим выполнялись многочисленные исследования аэрации, в результате которых получены различные зависимости для расчета характеристик аэрационных процессов. Выполненный анализ показал, что полученные зависимости качественно и количественно противоречивы и дают значительно различающиеся расчетные результаты.

Общей теории аэрационных процессов до настоящего времени не создано. Имеются отдельные достижения экспериментального характера, однако такие принципиально важные вопросы, как образование воздушных пузырьков при подаче воздуха в водную массу, их размеры и скорость

всплытия в воде, являющиеся ключевыми параметрами, исследованы недостаточно, полученные на их основе расчетные зависимости теоретически не обоснованы с точки зрения гидроаэродинамики и теории массопереноса. Аэрация водных масс широко используется в решении многочисленных задач гидротехнического строительства, очистки сточных вод, улучшения экологического состояния водных объектов, технологии добычи и обогащения полезных ископаемых.

Постановка вопроса. Применение аэрации позволяет предотвратить аварийные и катастрофические ситуации на водосбросных гидротехнических сооружениях, турбинном и насосном оборудовании, вызванные кавитационной эрозией материалов и оборудования. Аэрация загрязненных водоемов позволяет восстановить их кислородный баланс и улучшить их общее экологическое состояние. Оптимизация аэрационных процессов на основе совершенствования методов их расчета позволит уменьшить энергозатраты, которые в ряде случаев являются весьма значительными. Так, например, аэрация городских сточных вод при их очистке на станции аэрации (г. Ташкент), требует затрат электроэнергии соизмеримых с энергозатратами Ташкентского метрополитена. Широкое распространение и недостаточная изученность аэрационных процессов определяет актуальность.

Аэрация - это процесс насыщения покоящейся или движущейся водной массы воздухом. Аэрация может быть, как естественной (самоаэрация), так и искусственной [6,7]. Процесс проникновения воздуха через свободную поверхность потока называется самоаэрацией [4].

Искусственная аэрация создается с помощью различных устройств, обеспечивающих подачу воздуха в покоящуюся или движущуюся жидкость под давлением через различные диспергаторы (фильтросные пластины) или иным способом. В связи с тем, что практика применения аэраторов сложилась достаточно широкой, конструкции аэрационных устройств разнообразны [1, 4, 6].

1. Естественная аэрация водных потоков на гидротехнических водосбросных сооружениях

Возникновение естественной аэрации на гидротехнических водосбросных сооружениях (водосливах, быстротоках, шахтных водосбросах) исследовалось многими отечественными и зарубежными учеными [2,3,5]. Представлено несколько физических моделей возникновения аэрации, связывающих этот процесс с развитием турбулентного пограничного слоя, обрушением поверхностных волн, и влиянием турбулентности в поверхностных слоях водного потока [8].

Наблюдения показали очевидную зависимость начала аэрации от числа Фруда. Критическое значение числа Фруда, отвечающее за начало аэрации открытого потока, полученное Т. Г. Войнич-Сяноженцем [2].

Каналы, работающие при частичном заполнении сечения, встречаются в подводящих магистралях безнапорных водоводов, в канализационной сети и в различных искусственных сооружениях.

Круглые и другие криволинейные сечения безнапорных труб характеризуются той особенностью, что наибольший расход жидкости и наибольшая средняя скорость в этих сечениях имеют место не при полном, а лишь при частичном заполнении. Если в случае круглого сечения проследить за изменением величины площади живого сечения и периметра по мере увеличения степени наполнения трубы, то становятся понятными следующие закономерности.

При сравнительно малых наполнениях живое сечение растет быстро, так как возрастает ширина сечения одновременно с глубиной. Затем, после заполнения половины сечения рост площади живого сечения замедляется, т.к. с возрастанием глубины ширина сечения уже не увеличивается,

а уменьшается. В последующем, для зоны, близкой к полному заполнению, рост площади живого сечения становится минимальным.

При резко изменяющемся течении, поток аэрируется за счет действия поверхностных водоворотов (валец гидравлического прыжка, водовороты образующиеся при отрыве потока от поверхностей конструкции - быков, пазов и пр). Захват воздуха свободной отброшенной или падающей струей происходит вследствие защемления воздуха при распаде струи в результате потери устойчивости волн на её поверхности, при этом первоначально по внешнему контуру струи образуются воздушные полости с последующим разрушением и потерей сплошности струи.

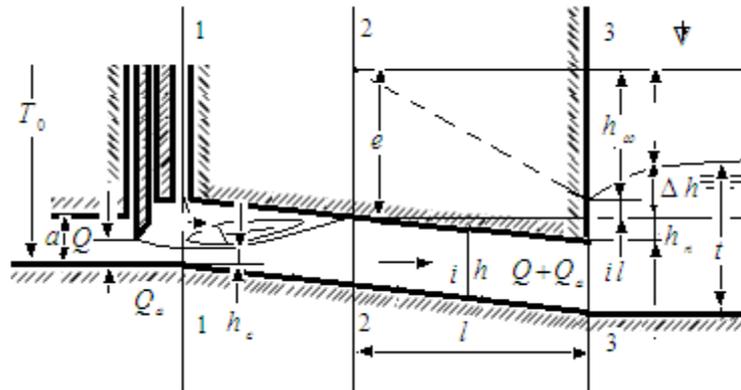


Рис.1. Схема к расчёту прыжка в водоводе замкнутого сечения

Расчет положения гидравлического прыжка в водоводе замкнутого сечения с одновременным расчетом количества воздуха, захватываемого потоком. Ниже дается вывод зависимостей для определения уровня воды в нижнем бьефе (в створе выходного отверстия), соответствующего положению начала вальца прыжка в створе сжатого сечения за затвором. Заданными являются геометрические параметры сооружения, открытие затвора, уровень воды в верхнем бьефе, вакуум за затворным пространством.

Для вывода расчетных зависимостей пользуемся уравнением количества движения, уравнением Бернулли и формулами для расчета расхода воздуха, захватываемого прыжком, пропускной способности воздуховода, коэффициента сжатия при истечении из-под затвора, расхода воды, поступающей из-под затвора.

1. Уравнение изменения количества движения для отсека потока воды между сечениями 1-1 в сжатом сечении и 2-2 за прыжком (рис.1.) (силой давления на наклонное дно пренебрегаем)

$$\rho \frac{Q(Q + Q_a)}{\omega_2} - \rho Q \frac{Q}{\omega_1} = \rho g \frac{\omega_1 e a}{2} - \rho g \omega_2 \left(e + \frac{h}{2} \right) + \rho g h_{\text{вак}} \omega_2 \quad (1)$$

где секундная масса воды ρQ в сечениях 1-1 и 2-2 постоянна (массой воздуха пренебрегаем); скорость течения в первом сечении $\frac{Q}{\omega_1}$, во втором $\frac{Q + Q_a}{\omega_2}$; Q_a - расход воздуха, захваченного в поток гидравлическим прыжком; e - напор в сечении 2-2, отсчитываемый от потолка; $h_{\text{вак}}$ - вакуум в воздушной полости за затвором, создающий в сечении 2-2 силу давления $\rho g h_{\text{вак}} \omega_2$, направленную против течения.

Для водовода прямоугольного сечения, и $\omega_2 = bh$. Решив уравнение относительно e , получим:

$$e = \frac{(\varepsilon a)^2}{2h} - \frac{h}{2} - h_{\text{вск}} + \frac{Q}{gbh} \left(\frac{Q}{\varepsilon ab} - \frac{Q + Q_a}{bh} \right) \quad (2)$$

2. Уравнение Бернулли для сечений 2-2 и 3-3 в выходном сечении водовода. При равных площадях водовода в сечениях 2-2 и 3-3 оно принимает вид:

$$e = h_n + h_\omega - il$$

Где h_n - превышение уровня воды в створе выходного отверстия водосброса над верхней кромкой отверстия; h_ω - потери напора на участке 2-2 и 3-3; il - превышение потолка водовода в сечении 2-2 над верхней кромкой выходного отверстия.

Подставляя e в (2), получаем:

$$h_n = \frac{(\varepsilon a)^2}{2h} - \frac{h}{2} - h_{\text{вск}} + \frac{Q}{gbh} \left(\frac{Q}{\varepsilon ab} - \frac{Q + Q_a}{bh} \right) - h_\omega + il \quad (3)$$

Здесь:

$$Q = \mu \varepsilon ab \sqrt{2g(T_0 - \varepsilon a + h_{\text{вск}})} \quad (4)$$

где εa - глубина в сжатом сечении; a - открытие затвора; T_0 - напор в сечении перед затвором, отсчитываемый от дна.

Расход воздуха Q_a определяется по формуле

$$\beta = \frac{Q_a}{Q} = 0,012(\sqrt{Fr} - 1) \quad (5)$$

Потери напора на участке 2-3, выраженные столбом смеси вода - воздух, равны:

$$h_{\text{осм}} = \lambda \frac{l}{D_r} \frac{(Q + Q_a)^2}{2g(bh)^2} \quad (6)$$

Поскольку:

$$\rho_{\text{см}}(Q + Q_a) = \rho Q + \rho_a Q_a,$$

$$h_{\text{осм}} \rho_{\text{см}} = h_\omega \rho$$

имеем:

$$h_{\text{осм}} = \lambda \frac{l}{4R} \frac{(Q + Q_a)Q}{2g(bh)^2} \quad (7)$$

При найденной по (6) глубине h_n - затопления верхней кромки выходного отверстия водовода определяем уровень свободной поверхности в его выходном сечении 3-3. Затем с учетом перепада восстановления определяем уровень воды в нижнем бьефе в удалении от выходного сечения водосброса, который может быть и выше, и ниже уровня в сечении 3-3.

Вывод.

1. Определенному расчетом уровню воды в нижнем бьефе отвечает положение прыжка в водоводе, при котором начало вальца прыжка расположено в сжатом сечении за затвором.

2. При повышении уровня воды в нижнем бьефе по сравнению с уровнем, найденным расчетом, произойдет подтопление затвора, вплоть до полного затопления пространства за затвором, при снижении - отгон прыжка.
3. Положение отогнанного прыжка может быть рассчитано по формуле (6). При этом приходится дополнительно определять глубину воды перед прыжком, для чего производится расчет кривой подпора на участке от сжатого - сечения до прыжка. Если при этом получаем для сжатого сечения число $Fr > 40$, то нужно учитывать по (4) дополнительный расход воздуха за счет самоаэрации потока на участке до прыжка.
4. Площадь выходного отверстия воздуховода при известном расходе воздуха и вакууме определяется по (2). При расчете положения прыжка вакуум за затвором определяется в процессе расчета положения прыжка.

Список использованной литературы

1. Айвазян О.М. Новый метод расчета зон развития аэрации неаэрированных зон бурных потоков на водосливных гранях плотин и в призматических быстотоках и его натурная проверка // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 3. С. 321 - 325.
2. Войнич-Сяноженцкий Т.Г. Аэрация и волнообразование на высокоскоростных водосбросных сооружениях. Справочное пособие. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Дадаходжаев А., Мамажанов М. М., Хайдаров Ш. Э. Indigenous Land Reclamation Of Infected Land //International Journal of Research. E-ISSN. – С. 2348-6848.
4. Войнич-Сяноженцкий Т.Г., Сакварелидзе В.В. Критерии аэрации плавно изменяющихся бурных потоков и их экспериментальная проверка. Плавно изменяющееся неравномерное движение аэрированных потоков // Тр. координационных совещаний по гидротехнике. Вып. 52. Л., 1969.
5. Гиргидов А.Д. Самоаэрация потока в открытом русле //ГТС. 2011. № 8. С. 41- 45.
6. Глазов, А. И. Расчет аэраторов на открытых водосбросах: дис. канд.техн.наук: 05.23.07 / А. И. Глазов. - М. 1987. - 235 с
7. Дадахожаев А. Мамаджонов М. М., Хайдаров Ш. Э. Освоение коренная мелиорация заовраженных земель (Наманганских адыров) //Ответственный редактор. – 2021. – С. 5.
8. Скворцов Л. С. Жмур Н. С. Современное состояние и перспективы улучшения водоснабжения в Российской Федерации //Вестник Российской академии естественных наук. - 2010. - №. 3. - С. 35-39.
9. Худайкулов С.И., Нишонов Ф.Х., Жўрахонова Ш, Мадиерова М. «Моделирование течение жидкости с образованием и распространением волн». Proceedings of Global Technovation 8th International Multidisciplinary Scientific Conference Hosted from London U.K. С 165-170. <https://conferencepublication.com> June 30th 2021.
10. Дадаходжаев А. и др. Почвоводоохранное земледелие и лесонасаждение заовраженных площадей Наманганских адыров //Молодой ученый. – 2017. – №. 24. – С. 236-238.
11. Худайкулов С.И., Шербаев М.Р., Қодиров Д.Т, Усмонова Н.А. Математическая модель сбойного течения за многопролетной плотинной при чередовании частично полностью открытых отверстий. Фарғона политехника институти илмий – техника журнали. 2021. Том 24. Спец. вып. № 1. Стр. 97-106.

12. Negmatov M. K. WATER EXCHANGE MODE IN SWIMMING POOLS WITH RETURN WATER SUPPLY SYSTEM //EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR). – 2021. – Т. 7. – №. 4. – С. 1-1.
13. Дадахожаев А. Мамаджонов М. М. Хайдаров Ш. Э. Коренная мелиорация за овраженных земель наманганских адыров //Ответственный редактор. – 2016. – С. 6.
14. Negmatov M. K., Zhuraev K. A., Yuldashev M. A. Treatment of Sewage Water of Electrical Production on Recycled Filters //International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2019. – Т. 6. – №. 10. – С. 11132-11135.
15. Дадаходжаев А. Мамаджанов М. М., Хайдаров Ш. Э. Принципы Управление Заовраженных Земель //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. – 2022. – Т. 3. – №. 6. – С. 358-363.
16. Мажидов Н. Н. Жўраев Х. А., Тошпулатов Д. С. ВОПРОСЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЖИРОВ И МАСЕЛ //Science Time. – 2018. – №. 2 (50). – С. 65-67.
17. Тулбаев Б. Б., Камолова С. Н. Физико-химическая очистка нефтесодержащих стоков //Science and Education. – 2021. – Т. 2. – №. 6. – С. 337-346.
18. Ахунов Д. Б., Жураев Х. А. Стеклокристаллические материалы на основе базальтов Кутчинского месторождения //Современные научные исследования и разработки. – 2017. – №. 3. – С. 14-17.
19. Дадахожаев А. Мамаджонов М. М., Хайдаров Ш. Э. Освоеные Коренная Мелиорация Заовраженных Земель. (На Пример Наманганских Адыров Рес. Уз.) //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. – 2022. – Т. 3. – №. 10. – С. 143-148.
20. Негматов М. К. Атамов А. А., Жураев Х. А. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЛЬТРОПЕРЛИТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД //ЖУРНАЛИ. – С. 142.
21. Худайкулов С. И. Жураев Х. А., Нишонов Ф. Х. Аэрация водных масс в решении технических, хозяйственных и экологических задач. ГИДРОТЕХНИКА. № 4, 2022. – С. 53-57
22. Алиазаров А. Х. Мажидов Н. Н., Жураев Х. А. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ГЕЛИОТЕПЛОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ЗОЛОЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ //Академическая публицистика. – 2017. – №. 5. – С. 8-15.
23. Мамаджонов М. М. Хайдаров Ш. Э. Дадахожаев Анваржон //1000 korii. – С. 4.
24. Жураев Х. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НАСЕЛЕНИЯ И КОММУНАЛЬНЫХ, ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ОТ ЖИРОВ И МАСЕЛ //Scienceweb academic papers collection. – 2018.
25. Жураев Х. МАҲАЛЛИЙ ХОМ-АШЁЛАРДАН ФИЛЬТРЛОВЧИ ҚАТЛАМ СИФАТИДА ФОЙДАЛАНИШ ИСТИҚБОЛЛАРИ //Scienceweb academic papers collection. – 2021.
26. Дадахожаев А. Мамаджонов М. М., Хайдаров Ш. Э. Типизация рельефа для оценки оврагоопасности территории Узбекистана //Science Time. – 2018. – №. 4 (52). – С. 92-94.
27. Худайкулов С. И. и др. Движение воздуха над свободной поверхностью неаэрированного потока в водоводе замкнутого сечения //Механика и технология. – 2022. – Т. 3. – №. 8. – С. 75-81.