

АНАЛИЗ ОБРАЗОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ВОРОНОК В ВЕРТИКАЛЬНОМ ВОДОЗАБОРЕ

Резюме: Изучены условия образования и типы вихревых процессов в вертикальных водозаборах. Рассмотрено воздействие вихревых процессов на работу гидротехнических сооружений. Дано определение вихревой воронки и изучены типы вихревых воронок и критических глубин. Обобщены формулы и зависимости для определения критической глубины и коэффициента расхода.

Ключевые слова: вертикальный водозабор, вихревые воронки, критическая глубина.

Введение: Вода забирается из водоемов на различные цели с помощью различных конструкций водозаборов, в том числе и поверхностного водозабора. Если глубина погружения не достаточна, то воздух попадает в систему водозабора через воздушную вихревую воронку и вызывает гидравлические проблемы. Вихревые воронки наблюдаются в любой системе не зависимо от того самотечная она или забор производится по средством насосов.

Вихревая воронка – это область потока, которая вращается вокруг оси. Эта ось может быть прямой или изогнутой. Воронка образуется, когда переход потока из безнапорного состояния в напорное не равномерный и беспрепятственный. Если поток не поддерживает постепенный переход, который стремится удерживать равномерное распределение скорости и ускорений, тогда может образоваться вихревая воронка. Основные причины образования вихрей – это неравномерный подход потока к водозабору, поперечные движения с высоким градиентом скорости, вращательные побуждения, вызванные преградами подходящего потока [1]. Чанг (1977) перечисляет эти источники также, как и диффузоры и перегородки на

пути проходящего потока, которые также могут вызвать маленькие вихри. Любое вихревое явление в подходящем потоке может быть усиленно в водозаборе за счет углового импульса. Другие изменения модели потока, вызванные ветром, волнами, ледяными заторами, мусором, также могут вызвать вихревые воронки или наоборот привести к уменьшению их образования.

Большинство ученых изучавших образование вихревых воронок отметили важность параметра числа Фруда водозабора в интенсивности образования вихревых процессов. Однако помимо числа Фруда важное значение также имеют размеры конструкции, особенно напорного трубопровода, глубина погружения водозабора и объемная циркуляция подходящего потока [22]. Хотя эти параметры важны для всех видов водозаборов, они играют особенно важную роль для затопленных оголовков, где недостаточная глубина погружения может привести к образованию вихревых процессов и потери водозабора могут быть значительными в сравнение с другими типами оголовков.

Термин критическая глубина (S_c) был задан в 1978 Джанин [22] как минимальная глубина, при которой сильные и нежелательные вихри не образуются. Если глубина погружения меньше S_c вихревые воронки будут образовываться, однако это не всегда справедливо в обратном случае, так как с увеличением глубины могут образовываться вихри, но незначительные.

Проблемы, ассоциируемые с образованием вихревых воронок многочисленны и включают вибрацию, кавитацию, потерю производительности, срыв работы водозабора и насосов, повреждение конструкции, чрезмерный шум, поврежде-

дения от мусора, попавшего в водозабор, увеличение объема ремонтных работ, замена насосов, ограничения в работе конструкции и требования модификации конструкции. Во всех инженерных проектах проектирование водозаборов происходит по двум основным принципам: минимизация стоимости и максимизация эффективности. Образование вихревых потоков в конструкции водозабора может увеличить критическую глубину и уменьшить коэффициент водозабора, что приводит к неоптимальной гидравлической работе.



Рис. 1- Классификация типов вихревых воронок (Хеккер 1987)

Одни из самых первых рекомендаций для проектирования насосных станций были сделаны Поссером в 1977 г. Там было сказано, что поток должен быть равномерным по всей ширине канала со скоростью не больше 1 м/с., опоры должны быть обтекаемыми для избежания разделения потока, застойные области потока должны быть заполнены и уловители мусора должны работать как выпрыгиватели потока. Он также утверждает, что факторы, приведенные ниже являются результатом плохого проектирова-

Определение критической глубины погружения водозабора. Ученные установили зависимость между глубиной погружения и образованием вихревых воронок с целью создания руководства для проектирования водозаборов затопленного типа. Они в основном рассматривали вихревые потоки, захватывающие воздух, так как именно эти процессы являются основной причиной разрушений гидротехнических сооружений. В 1987 Хеккер [1] доказал, что воздух больше всего завлекается вихревым потоком 5 и 6 типа рис. 1.

ния и их следует избегать. Эти факторы включают: резкие изменения направления потока, быстро изменяющиеся каналы, крутые откосы и не обтекаемые опоры. Если все условия, предлагаемые Поссером будут соблюдены, то минимальная глубина погружения водозабора определяется по формуле:

$$S = 1.5 D_0 \quad (1)$$

где D_0 – диаметр входной части водозабора.

Если же эти условия не соблюдаются, то рекомендуется изучение физической модели.

Редди и Пикфорд в 1972 г. были первыми кто использовал безразмерное погружение для изучения вероятности образования вихревых процессов, и определили, что основные вихри со свободной поверхностью происходят, когда безразмерное погружение меньше чем:

$$S/D = 1 + Fr \quad (2)$$

где Fr – число Фруда

Ринделс и Гулливер в 1987г. провели исследования слабых поверхностных вихрей в воронкообразном вертикальном водозаборе, расположенном в головном канале, используя экспериментальные модели. Направляющие лотки были установлены для получения необходимого угла подходящего потока. Тринадцать экспериментов были проведены с различными углами потока и числом Фруда в диапазоне 0.25-0.22. Изменения соотношения S/d в соответствие с числом Фруда были получены [2].

Ийлдырым и Кочабас в 1995г. провели исследование критической глубины в водозаборе при образовании вихря с воздушным стволом. Для формирования зоны потока теоретически, точечная воронка была совмещена с равномерным потоком канала. В этом исследовании расход воронки был приравнен к расходу равномерного потока для обеспечения непрерывности системы. В экспериментах критическая глубина была приравнена к радиусу точечной воронки [3]. Они доказали, что критическая глубина с помощью решения потенциального потока для водозабора, находящегося в открытом канале, резервуаре и для квадратного водозабора [4, 5]. Ийлдырым определил расположение границ восприятия для критической глубины водозабора [5]. Ийлдырым и Тастан определили влияние дна канала и тушковой стенки на критическую глубину в цилиндрическом водозаборе [8]. Ийлдырым и Тастан установили влияние безразмерных пара-

метров и шероховатости поверхностей на образование вихрей с воздухом и критическую глубину водозабора, расположенного в стоячей воде без учета циркуляции поперечного потока [9]. Эроглу и Бахадирли получили критическую глубину для квадратного водозабора используя решение потенциального потока [10]. Рахимзаде используя экспериментальные работы установил формирование модели поверхностного потока [11]. Ли и Чен провели экспериментальные и численные моделирование для изучения формирования и развития вихрей со свободной поверхностью [12]. Зао провел численное моделирование вихрей со свободной поверхностью в танке с донным водосливом [13]. Чен получил выражение скорости для вихрей со свободной поверхностью используя метод ренормализации групп RNG k-ε турбулентной модели [14]. Сохи использовал танки квадратной поперечной формы для гашения образования вихрей [15]. Сохи доказал, что гаситель лопастного типа эффективен для предотвращения образования вихрей [16]. Круглая плоская пластина с пористой стенкой была использована Марьяри [17]. Саркардех доказал, используя факторы, влияющие на силу вихря. В заключение он установил, что образование вихрей может быть предотвращено если увеличить расстояние между поверхностью воды и водозабором [18]. Тагвай с помощью экспериментальной установки доказал, что горизонтальная пластина работает эффективнее в сравнение с другими противовихревыми устройствами для уменьшения критической глубины [19].

При увеличении глубины уменьшается расход. В воронкообразном водозаборе с уменьшением поперечного сечения, увеличивается скорость потока, а давление по центральной оси водозабора уменьшается. В этом случае если давление по центральной оси водозабора не падает ниже атмосферного, то вихри не образуются. Таким образом, феномен вихревых процессов образуется от взаимодействия формы водозабора, глубины во-

дозабора и свойств жидкости таких, как вязкость и поверхностное натяжение. До сих пор, не были проведены исследования о коэффициенте расхода в танках с вертикальным водозабором.

Важные безразмерные величины, которые необходимы для определения коэффициента расхода и критической глубины для вертикального водозабора. относительное погружение –

$$\text{коэффициент расхода} \quad \frac{Sc}{d} \quad (3)$$

$$-C_D = \frac{4Q}{\pi d^2 \sqrt{2gSc}} \quad (4)$$

$$\text{число Фруда} \quad Fr = \frac{4Q}{\pi d^2 \sqrt{gd^3}} \quad (5)$$

$$\text{число Рейнольдса} \quad -Re = \frac{Q}{\nu d} \quad (6)$$

$$\text{число Вебера} \quad We = \frac{\rho v^2 d}{\sigma} \quad (7)$$

в формулах S_c – критическая глубина; d – диаметр водозабора; Q – расход; g – ускорение свободного падения; v – кинематическая скорость; ρ – плотность; ν – скорость потока в трубе; σ – поверхностное натяжение

В соответствии с рекомендациями диапазон числа Вебера и Рейнольдса приведен в таблице 1., при пренебрежении воздействий поверхностного натяжения и вязкости.

Таблица 1

Авторы	We	Re
Дэггет и Келеган	$1^2 \rho d / \sigma \geq 120$	$Q / (\nu D) \geq 3 \times 10^3$
Анвар	$1^2 \rho d / \sigma \geq 120$	$Q / (\nu S) \geq 10^4$
Джанн	$1^2 \rho d / \sigma \geq 120$	$(gd^3)^{0.5} / \nu \geq 5 \times 10^4$

Заклучение: Были изучены условия образования вихревых процессов в вертикальных водозаборах. Установлено негативное воздействие вихревых процессов на работу гидротехнических сооружений. Дано определение вихревой воронки и изучены типы вихревых воро-

нок и критических глубин. Обобщены формулы и зависимости для определения критической глубины и коэффициента расхода.

ЛИТЕРАТУРА

- Hecker GE (1987). Fundamentals of vortex intake flow. Swirling flow problems at intakes. IHAR Hydraulic structures design manual 1. J. Knauss Ed. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp.13-38.
- Rindels AJ and Gulliver JS (1983). An experimental study of critical submergence to avoid free-surface vortices at vertical intakes. Saint Anthony Fall Hydraulic Laboratory. Project Report No. 224
- Yildirim N and Kocabas F (1995). Critical submergence for intakes in open channel flow. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 121(12): 900-905.
- Yildirim, N. and Kocabas, F., Prediction of critical submergence for an intake pipe [J]. J. Hyd. Res., IHAR, 2002. 121(12): 900-905
- Yildirim, N., Critical submergence for rectangular intake [J]. J. Engrg. Mech., ASCE, 2004, 130(10): 1195-1210
- Yildirim, N., Kocabas, F. and Gulcan, S.C. Flow boundary effects on critical submergence of intake pipe [J]. J. Hyd. Engrg., ASCE, 2000, 126(4): 288-297.
- Yildirim, N., Kocabas, F. and Gulcan, S.C. Errata for flow boundary effects on critical submergence of intake pipe [J]. J. Hyd. Engrg., ASCE, 2007, 133(4): 463-472.
- Yildirim, N. and Tastan, K. Comparison of Flow-Boundary Effects on Critical Submergence of an Intake [J]. Journal of Teknik Dergi, Turkey, 2009, 20(3): 4779-4792.
- Tastan, K. and Yildirim, N. Effect of dimensionless parameters on air-entraining vortices. [J]. J. Hyd. Res., 2010, 48(1): 57-64.
- Eroglu, N. and Bahadirli, T., Prediction of critical submergence for a rectangular [J]. J. Energy. Engrg. ASCE, 2007, 133 (2): 91-103.

- Rahimzadeh, H., Fathi, N. and Asoodeh, M.H. An experimental model of flow surface patterns at vertical downward intake with numerical validation, Int. Conf. on water resources, Hydraulics & Hydrology. Chalkida, Greece, May 11-13, 2006, pp:111-118
- Li, H. and Chen, H. Experimental and numerical investigation of free surface vortex [J]. Journal of Hydrodynamics, 2008, 20(4): 481-491
- Zhao, Y. et al. Numerical analysis of structure and evolution of free water vortex [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2003, 33(3): 85-88.
- Chen, Y., Wu, C. and Ye, M., hydraulic characteristics of vertical vortex at hydraulic intakes [J]. Journal of Hydrodynamics, 2007, 19(2): 143-149.
- Sohn C. H., Ju N. G. and Gowda B. H. L., PIV study of vortex during draining from square tanks [J]. Journal of mechanical science and technology, 2010, 24(4): 951-960.
- Sohn C. H., Ju N. G. and Gowda B. H. L. Draining from cylindrical tanks with vane-type suppressors, a PIV study [J]. Journal of Visualization, 2009, 12(4): 347-360.
- Mahyari M. N., Karimi H., Naseh H. and Mirshams M. Numerical and experimental investigation of vortex breaker effectiveness on improvement in launch vehicle ballistic parameters [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2010, 24(10): 1997-2006.
- Sarkardeh, H., Zarrati, A.R., Jabbari, E. and Roshan, R., Discussion of prediction of intake vortex risk by Nearest Neighbor Modeling [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 137(6): 701-705.
- Tagvaei, S.M., Roshan, R., Safavi, Kh. And Sarkardeh, H., Anti-vortex structures at hydropower dams [J]. International Journal of the Physical Science, 2012, 7(28): 5069-5077.
- Daggett LL and Keulegan GH (1974). Similitude conditions in free-surface vortex formation. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 100(11):1565-1580.
- Anwar HO, Weller JA and Amphlett MB (1978). Similarity of free-vortex at horizontal intake. Journal of Hydraulic Research, 16(2):95-105.
- Jain AK, Ranga Raju KG and Garde RJ (1978). Vortex formation at vertical pipe intakes. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 104(10):1429-1445.
- Odgaard AJ (1986). Free-surface air core vortex. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 112(7): 610-620.

A.A. Lipin

Azərbaycan EİB Hidrotexnika
və Melliorasiya

Şaquli suqəbulədi qurğularda burulğan
proseslərinin yaranmasının təhlili

XÜLASƏ

Şaquli su alıcı qurğularda qasırğa proseslərinin formalaşdırılması şəraiti və növləri araşdırılır. Hidrotexniki qurğuların istismarına qasırğa prosesinin təsiri nəzərdən keçirilir. Vorteks hunisinin tərfi verilir və vorteks hunilərinin növləri və tənqidi dərinliklər tədqiq edilir. Kritik dərinliyi və axını müəyyənləşdirmək üçün ümumiləşdirilmiş formullar və əslihlilər verilir.

Açar sözlər: şaquli su alıcı qurğu, vorteks hunisi, kritik dərinlik.

A.A. Lipin

Azerbaijan SPU of Hydro
technique and Melioration

Vortex formation in vertical
water intakes

ABSTRACT

Investigation of conditions of vortex formation and types of vortex in vertical water intakes, has been carried out. Impact of vortices on the performance of hydro