

УДК. 627.832

## ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЙ ВОДОЗАБОР, С ВОДОБОЙНЫМ КОЛОДЦОМ

д.т.н. С.Т.Гасанов,  
докторант А.А. Липин  
НПО “АзГ и М”

*Məqalə redaksiya heyətinin 10.12.2020-ci il tarixli iclasında (protokol № 04) t.e.f.d., dos. B.M. Əhmədovun təqdimatı əsasında müzakirə olunaraq, onun Birliyin “Elmi əsərlər toplusu”nın XLII cildinə daxil edilməsi qərar alınmışdır.*

**Аннотация.** Статья посвящается усовершенствованию конструкции телескопического водозабора. Анализ условий работы телескопического водозабора показал, что в отводящем трубопроводе создается большая кинетическая энергия потока. При транспортировке воды открытым способом для защиты нижнего бьефа от разрушения следует предусматривать водобойное сооружение. Предложена конструкция водобойного колодца и метод его расчёта. Модель конструкции была проанализирована с помощью компьютерного программного комплекса ANSYS SFX.

**Ключевые слова:** водозабор, водобойный колодец, гашение энергии, метод расчёта, усовершенствование.

**Введение.** В водном хозяйстве, водоснабжении, энергетике и других областях экономики для забора воды из разных источников применяются водозаборные сооружения с различной конструкцией и принципом работы. В подавляющем большинстве, в зависимости от топографических, геологических и географических условий используются фронтальные, боковые, донные и башенные водозаборы [1,2,3]. Каждый тип водозаборного сооружения имеет специфические особенности и недостатки. Основными недостатками этих водозаборных сооружений являются следующие: 1. При колебании уровня воды в источниках изменяется их производительность (расход); 2. В источниках, наполненных талыми и родниковыми водами, а также водами горных рек, нижние горизонты имеют низкие температуры по сравнению с верхними. Вода, забираемая из этих источников и подаваемая на орошение, губительно воздействует на плодородие почвы и урожайность сельхоз культур. При понижении температуры воды ниже 20<sup>0</sup>С урожайность сельхоз культур в аридных зонах снижается на 30-40%, а при снижении температуры воды ниже 15<sup>0</sup>С сельхоз культуры полностью погибают [4,5]. Наряду с этим, при понижении температуры оросительной воды ниже температуры почвы, ухудшается её биологическая активность, нарушаются процесс нитрификации и амификации; 3. При заборе воды известными водозаборными сооружениями не обеспечивается чистота и осветленность забираемой воды, т.к. при работе к ним поступают взвешенные и донные наносы.

В середине прошлого столетия в Японии разработаны поверхностные водозаборы различной конструкции под различными названиями [6, 7, 8, 9]. Анализируя принцип работы и конструктивные особенности, а также установленные недостатки из-

вестных поверхностных водозаборных сооружений и устройств, разработано новое телескопическое водозаборное устройство [10].

**Конструктивные особенности телескопического водозабора.** Разработанный телескопический водозабор содержит поплавок, входную воронку, телескопически соединённые трубы, сужающиеся книзу, колено с отводящим трубопроводом и соединительные элементы. С целью предотвращения кавитации, в средней части поплавка установлена воздухоподводящая конусообразная труба с выступом, направленным в сторону входной воронки. Для обеспечения автоматизированного перемещения поплавка вниз до закрытия входной воронки при отсутствии воды (или жидкости) или при достижении мертвого объёма воды в источнике, в нижней части соединительных элементов установлены пружины (рис.1).

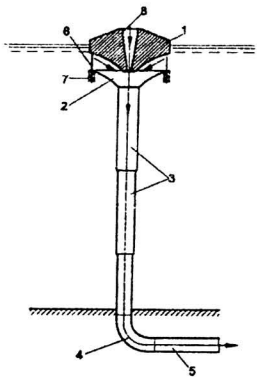


Рис. 1. Конструкция поверхностного водозабора:  
1-поплавок, 2-входная воронка, 3-телескопически соединённые трубы,  
4-колесо, 5-отводящий трубопровод, 6-соединительный элемент,  
7-выжимные пружины, 8-воздухоподводящий конфузор.

**Принцип работы и недостатки известного устройство.** Поплавок, удерживая входную воронку в воде в погруженном состоянии, обеспечивает постоянно действующий напор на ее входе. При этом вода из верхних слоёв поступает в воронку, а оттуда в телескопически соединённые трубы, а затем через колено в отводящий трубопровод.

При понижении уровня воды в источнике телескопически соединённые трубы, воронка и поплавок опускаются вниз, а при повышении уровня воды – поднимаются вверх. Благодаря этому обеспечиваются автоматизированный забор воды и постоянность её расхода независимо от действующего напора в источнике. Забор воды осуществляется из верхних горизонтов, поэтому в водозабор поступает более осветлённая, чистая и в тоже время более теплая вода, нагретая прямыми солнечными лучами.

При поступлении воды во входную воронку происходит сужение потока и увеличение его скорости, за счёт которого образуется вакуум и кавитация. Через воздухоподводящую трубу в зону вакуума всасывается воздух и предотвращается процесс кавитации, характеризующийся выделением из потока парогазовых пузырьков, вызывающих треск, шум и вибрацию, а в конечном счёте эрозию и разрушение устройства.

При отсутствии воды или достижении мертвого объёма в источнике, пружины, установленные под соединительными элементами, обеспечивают автоматическое закрытие входной воронки.

Разработанное телескопическое водозаборное устройство имеет высокую мобильность, широкую область применения, в тоже время очень просто и удобно в эксплуатации по сравнению с известными. Несмотря на эти преимущества водозабора, он имеет ряд недостатков. Телескопический водозабор имеет большие скорости на выходе из отводящего трубопровода. Дело в том, что при транспортировке воды открытым способом, т.е. с помощью магистрального канала, большие скорости на входе в канал приводят к его размыву и разрушению. В известном устройстве не предусмотрен элемент для прекращения забора воды в нештатных ситуациях, водобойный колодец для гашения энергии в нижнем бьефе и защитный элемент для предотвращения попадания плавающих и сторонних предметов во входную воронку, а затем во внутрь водозабора. Кроме того, отсутствует конкретный метод для расчета водобойного сооружения.

В связи с этим, **целью работы** является усовершенствование конструкции известного телескопического водозабора, разработка конструкции и методики расчета водобойного колодца.

**Обсуждение и результаты.** Для предотвращения попадания посторонних плавающих предметов в водозабор на входной воронке вокруг соединительных элементов установлена цилиндрическая съёмная защитная решётка. Для прекращения или регулирования расхода забираемой из источника воды, в нижнем бьефе на отводящем трубопроводе установлен затвор (задвижка), а за ней построен водобойный колодец для гашения энергии воды и предотвращения местного размыва (рис.2). Если водозабор предназначен для водоснабжения и транспортировка осуществляется на дальние расстояния с помощью трубопровода, то в этом случае отпадает необходимость в устройстве водобойного колодца.

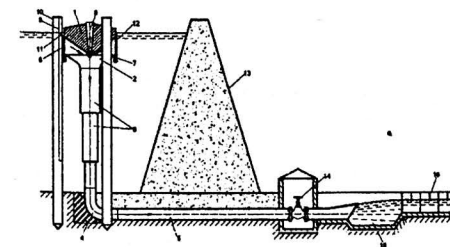


Рис. 2. Схема телескопического водозабора:  
1-поплавок; 2-входная воронка; 3-телескопически соединённые трубы; 4-колесо; 5-отводящий трубопровод; 6-соединительный элемент; 7-выжимные пружины; 8-воздухоподводящий конфузор; 9-направляющая щель; 10-сваи; 11-Т-образный выступ; 12- решётка; 13-плотина; 14-затвор; 15- водобойный колодец; 16- канал.

При применении телескопического водозабора на выходе отводящего трубопровода образуется достаточно высокий рабочий напор и тем самым кинетическая энергия, которая может быть использована для выработки электрической энергии

путем установления реактивной электро-турбины на линии в любом удобном месте отводящего трубопровода.

Таким образом, вода выходящая из вертикального телескопического водозабора в открытый канал на выходе происходит расширение. Вода выходящая из диффузора постепенно расширяется и в конце полета струи получает максимальное значение. Угол расширения струи ( $\theta$ ) равен углу конусности диффузора ( $\theta_d$ ).

Диаметр, полученный в конце полета струи, можно принять как глубину воды в водобойном колодце. В общем случае, она определяется по сопряженной глубине транспортирующего канала [11, 13, 15, 16]:

$$a = h_2 - h_b, \quad (1)$$

где  $a$  – глубина водобойного колодца (м.);  $h_2$  – сопряженная глубина (м.);  $h_b$  – глубина воды в канале (м.).

Сопряженная глубина в зависимости от угла расширения ( $\theta$ ) можно определить следующим образом:

$$h_2 = D + 2 L \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \quad (2)$$

где  $D$  – выходной диаметр диффузора, м;  $\theta$  – угол расширения диффузора или струи;  $L$  – длина полета струи, м.

Длина полета струи выходящей из диффузора ( $L$ ) определяется в зависимости от скорости и ускорения свободного падения по следующей формуле [11, 14]:

$$L = v \sqrt{\frac{2(Z + 0,5D)}{g}}, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость струи выходящей из диффузора, м/с;  $Z$  – разница давлений верхнего и нижнего бьефа м;  $D$  – диаметр на выходе из диффузора, м;  $g=9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Скорость струи выходящей из диффузора ( $v$ ) рассчитывается по следующей формуле:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (4)$$

где  $Q$  – расход водозабора, м<sup>3</sup>/с;  $\omega = \pi D^2 / 4$  – площадь выходной части диффузора, м<sup>2</sup>.

Длина водобойного колодца определяется только по длине полета струи. Поэтому длина полета струи определенная по формуле (3) и принимается как длина водобойного колодца. Рассмотрим гидравлический расчет предлагаемого телескопического водозабора на конкретном примере.

**Пример:** на основании проекта заданы следующие параметры:

- расчетный расход водозаборного сооружения  $Q=3 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

- длина отводящего трубопровода  $l=20 \text{ м}$ ;
- разница напора верхнего и нижнего бьефов  $Z=10 \text{ м}$ ;
- коэффициент откоса канала  $m=1,5$ ;
- уклон канала  $i=0,001$ ;
- коэффициент шероховатости канала  $n=0,017$ .

**Требуется** определить следующие параметры:

- диаметр диффузора  $D$ ;
- диаметр отводящего трубопровода  $d$ ;
- длина диффузора  $l$ ;
- параметры водоотводящего канала, в том числе ширина дна  $b$  и глубина воды в канале  $h$ ;
- средняя скорость движения воды в канале  $v$ ;
- глубина водобойного колодца  $a$ ;
- длина водобойного колодца  $L$ .

**Решение.** В начале принимаем коэффициент расхода системы  $\mu = 0,8$  и находим выходной диаметр диффузора:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\mu \pi \sqrt{2gZ}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3}{0,8 \cdot 3,14 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 10}}} \approx 0,58 \text{ м.}$$

Теперь принимаем значение вакуума в системе  $h_v=6,5 \text{ м.в.с.}$  и рассчитываем диаметр отводящего трубопровода:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\mu \pi \sqrt{2g(Z + h_v)}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3}{0,8 \cdot 3,14 \sqrt{2 \cdot 9,81 (10 + 6,5)}}} = 0,52 \text{ м.}$$

Принимаем угол конусности диффузора  $\theta^0$  и рассчитываем его длину по формуле:

$$l = \frac{D - d}{2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} = \frac{0,58 - 0,52}{2 \operatorname{tg} \frac{7}{2}} = 0,5 \text{ м.}$$

По И.И.Агроскину определяем гидравлически наивыгоднейший радиус канала. В соответствие с коэффициентом откоса канала  $m=1,5$  определяем характеристику откоса:

$$m_o = 2\sqrt{1+m^2} - m = 2\sqrt{1+1,5^2} - 1,5 = 2,106.$$

В соответствие с уклоном канала  $i=0,001$ , расходом  $Q=3 \text{ м}^3/\text{с}$  и характеристикой откоса канала  $m_o=2,106$  рассчитываем функцию наиболее наивыгоднейшего радиуса по формуле:

$$F(R_{\text{я}}) = \frac{Q}{4m_o \sqrt{i}} = \frac{3}{4 \cdot 2,106 \sqrt{0,001}} = 11,3 \text{ м}^3/\text{с.}$$

По таблицам приведенным в литературе, например [11] таблица П.16.6, в соответствие со значениями коэффициента шероховатости  $n=0,017$  и  $F(R_s)=11,3 \text{ м}^3/\text{с}$  находим  $R_s=0,46 \text{ м}$ .

При  $\sigma=1$  определяем отношений  $b/R_s=1,40$  и  $h/R_s=2$ . Откуда  $h=2 \cdot 0,46=0,92 \text{ м}$  и  $b=1,4 \cdot 0,46=0,64 \text{ м}$ .

Находим площадь живого сечения канала по формуле:

$$\omega = (b + mh)h = (0,64 + 1,5 \cdot 0,92)0,92 = 1,86 \text{ м}^2.$$

Для определения средней скорости движения воды в канале из выше приведенной таблицы № П.16.6 определяем значение  $C\sqrt{R}$  в соответствие с радиусом  $R_s=0,46$  и коэффициентом шероховатости  $n=0,017$ ,  $C\sqrt{R} = 52,5 \text{ м/с}$ .

Определяем среднюю скорость движения воды в канале по формуле:

$$v = C\sqrt{R} \sqrt{i} = 52,5 \cdot \sqrt{0,001} = 1,66 \text{ м/с}.$$

Определяем пропускную способность канала по формуле:

$$Q_k = \omega v = 1,86 \cdot 1,66 = 3,08 \text{ м}^3/\text{с}.$$

**Проверка:** Расход водозаборного сооружения  $Q=3 \text{ м}^3/\text{с}$ , пропускная способность канала  $Q_k=3,08 \text{ м}^3/\text{с}$ , т.е.  $Q_k \geq Q$ . Значит канал может транспортировать поступающий в него расход воды с запасом.

Для определения глубины водобойного колодца определяем сопряженную глубину  $h_2$ . С этой целью, по формуле (4) определяем скорость воды на выходе из диффузора:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,58^2} = 11,36 \text{ м/с}.$$

Затем по формуле (3) определяем длину полета струи:

$$L = v \sqrt{\frac{2(Z + 0,5D)}{g}} = 11,36 \sqrt{\frac{2(10 + 0,5 \cdot 0,58)}{9,81}} = 16,45 \text{ м}.$$

Угол расширения струи ( $\theta_s$ ), принимаем равным углу конусности диффузора

$\theta_s = \theta = 7^\circ$  и определяем сопряженную глубину ( $h_2$ ) по формуле (2):

$$h_2 = D + 2L \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = 0,58 + 2 \cdot 16,45 \cdot \operatorname{tg} \frac{7^\circ}{2} = 2,59 \text{ м}.$$

Глубину водобойного колодца определяем по выражению (1):

$$a = h_2 - h = 2,59 - 1,44 = 1,15 \approx 1,2 \text{ м}.$$

Принимаем длину водобойного колодца равной длине полета струи  $l_q=L=16,45 \text{ м}$ .

**Компьютерное моделирование** Для компьютерного моделирования использовался программный комплекс ANSYS CFX. Данный модуль позволяет решать сложные

гидравлические задачи.

Собрана модель конструкции вертикального телескопического водозабора оборудованного водобойным колодцем в масштабе 1:1. Исходные размеры для моделирования взяты из выше рассмотренного примера.

Для расчета конструкции использовались те же гидравлические характеристики и граничные условия что и в выше рассмотренном примере.

На рис.3 приведена диаграмма распределения скоростей в поперечном сечении конструкции.

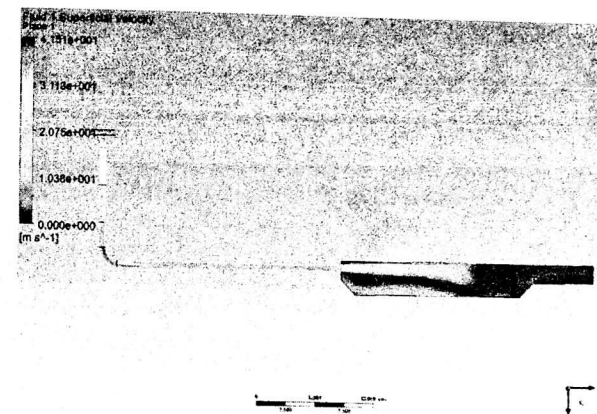


Рис. 3. Диаграмма распределения скорости воды в поперечном сечении конструкции.

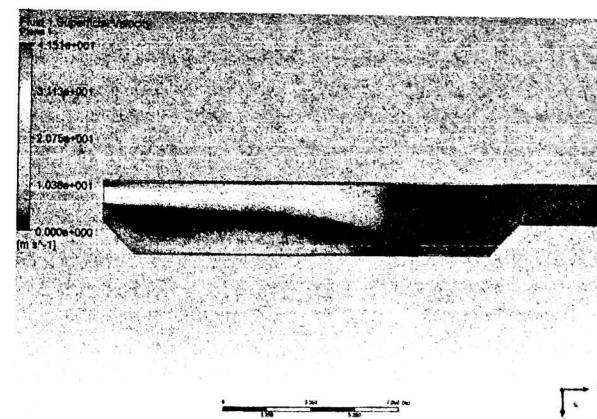


Рис. 4. Диаграмма распределения скоростей воды в поперечном сечении водобойного колодца.



По результатам расчета видно что максимальная скорость в отводящем трубопроводе достигает 37 м/с (рис.3). В диффузоре происходит расширение потока и уменьшение скоростей. На рис.4 видно что скорости потока по краям диффузора значительно меньше чем в центре. На участке водобойного колодца скорость равна 1,5 м/с. На входе в магистральный канал скорость 2 м/с (рис.5).

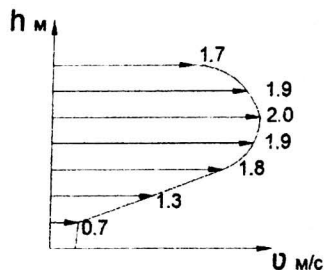


Рис.5. Эпюра скоростей в продольном сечении на входе в канал: h – глубина канала; v-скорость потока.

#### Выводы:

1. Усовершенствована конструкция телескопического водозабора, который оборудован водобойным колодцем в нижнем бьефе.
2. Установлены основные параметры и предложена методика расчета водобойного колодца.
3. В результате компьютерного моделирования было получено распределение скоростей в водобойном колодце.

#### Литература:

1. Волков М.М., Кононенко Л. Ф., Федичкин И. К. Гидротехнические сооружения. – М.: Колос; 1968.- с. 208-209.
2. Розанова Н. П., Гидротехнические сооружения– М.: Агропромиздат, 1985; с. 160-161.
3. Кириенко И. И., Химерик Ю.А. Гидротехнические сооружения. Проектирования и расчёты. – Киев: Вища школа, 1987.- с. 253
4. Безднина С. Я. Оптимальные параметры мелиоративного режима почв// Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 11; -с. 58-63.
5. Вазнюк С.Т., Кузьмич П.К., Кракитоф В.Г. и др. Мелиоративное почвоведение; Львов: Вища школа, 1984; -с. 11-38.
6. Заявка Японии №53-39697, М.кл. E02 В 9/04, 1978.
7. Заявка Японии №53-43728, М.кл. E02 В 9/04, E02 В 13/00, 1978.
8. Заявка Японии №57-40294, М.кл. E02 В 7/032, 5/08, 1983.
9. Заявка Японии №57-43686, М.кл. E02 В 7/32, 1986.
10. Гасанов С.Т. Устройство для забора воды. Патент СССР по заявке № 4883468/15 (111716), М.кл. E02 В5/08, 1991.
11. Штеренлихт Д.В. Гидравлика [Текст]: учеб. для вузов / Д.В. Штеренлихт. –М. : КолосС, 2004. – 656 с.
12. Угинчус А. А., Чугаева Е.А., Гидравлика. – Ленинград: Стройиздат, 1971, - с. 350

13. Bağırov S. Kanallar və onların üzərindəki hidrotexniki qurğular: dərs vəsaiti / S. Bağırov, A. Məmmədov. Bakı: Maarif, - 1983, - 244 s.
14. Агроскин И.И. Гидравлика. Учеб. для вузов / И.И.Агроскин, Г.Т. Дмитриев, Ф.Н. Пикалов. Москва: Энергия, -1954, -484 с.
15. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / Под. общ. ред. В.П. Недриги. Москва: Стройиздат, -1983, -543 с.
16. Угинчус А.А. Гидравлика: учебник для вузов/ А.А.Угинчус, Е.А. Чугаева. - Ленинград: Стройиздат, -1971, -350 с.
17. Chahar B.R. Optimal design of a special class of curvilinear bottomed channel section // Journal of Hydraulic Engineering. 2007. 133. Pp. 571–576.
18. Михалев М.А. Физическое моделирование гидравлических явлений. СПб.: СПбГПУ, 2013. 373 с.
19. Das A. Chance constrained optimal design of trapezoidal channels // Journal of Water Resources Planning and Management. 2008. Vol. 134. Pp. 310–313.
20. Graf W.H. Fluvial Hydraulics. Chichester: John Wiley & Sons, 1998. P. 681.
21. Dingman S.L. Fluvial Hydraulics. New York: Oxford University Press, 2009. P. 576.

#### SUDÖYƏN QUYULU TELESKOPIK SUGÖTÜRÜCÜ

**Xülasə.** Məqalə teleskopik sugötürücü qurğunun təkmilləşdirilməsinə həsr edilmişdir. Qurğunun işləmə şəraitinin təhlili əsasında müəyyən edilmişdir ki, suaparıcı boru kəmərinə axın böyük kinetik enerjiyə malik olur. Suyun nəqli zamanı aşağı biefdə yuyulma prosesi baş verir. Ona görə də aşağı biefdə sudöyən quyunun tikilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Sudöyən quyunun konstruksiyası və hesablanması metodu təklif edilmişdir. Qurğunun konstruksiyasının modeli ANSYS SFX kompüter programının köməyi ilə analiz edilmişdir.

**Açar sözlər:** sugötürücü, sudöyən quyu, enerjinin söndürülməsi, hesablama metodu, təkmilləşdirmə.

#### TELESCOPIC WATER INTAKE DEVICE WITH WATER WELL

**Summary.** The article is devoted to the improvement of the telescopic water intake device. Based on the analysis of the operating conditions of the device, it was determined that the flow in the water leading pipeline has a large kinetic energy. During the water transport, the washing process takes place in the lower bay. Therefore, it is planned to build water well in the lower bay. The construction and calculation method of the water well were proposed. The model of the construction of the device was analyzed using a ANSYS SFX computer program.

**Keywords:** water intake, water well, power outage, calculation method, improvement.

Redaksiyaya daxil olma: 30.11.2020-ci il  
Təkrar işlənməyə göndərilmə: 04.12.2020-ci il  
Çapa qəbul edilmə: 10.12.2020-ci il