

УДК 626-337

**СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ ИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ЗАЩИТЫ НИЖНИХ БЬЕФОВ ГИДРОУЗЛОВ**

**TEXTILE STREAM-DIRECTING SYSTEMS
FOR HYDROSYSTEM TAILRACE PROTECTION**

*С.В. ФЕДОСОВ, А.Г. ПОЗДЕЕВ, В.Г. КОТЛОВ, Ю.А. КУЗНЕЦОВА
S.V. FEDOSOV, A.G. POZDEEV, V.G. KOTLOV, YU.A. KUZNETSOVA*

**(Поволжский государственный технологический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)
(Volga State University of Technology,
Ivanovo State Polytechnical University)
E-mail: isa@volgatech.ru**

Разработаны конструкция и методика расчета струенаправляющих систем защиты нижних бьефов гидроузлов от размыва за счет использования в конструкции парусных элементов из текстильных материалов, удерживаемых в потоке сетью несущих канатов.

We developed design and calculation principles of new stream-directing systems, which provide protection against erosion in hydrosystem tailraces due to the use of textile sailing elements in the construction, held by network of load-bearing ropes.

Ключевые слова: защита от размыва, нижний бьеф, гидроузел, струенаправляющие парусные системы, вихревые структуры, индуцированные скорости, текстильные материалы, сетчатая несущая конструкция, плавучие сферы.

Keywords: protection against erosion, tailrace, hydrosystem, stream-directing sailing systems, vortex structures, induced velocities, textile materials, grid load-bearing structure, floating spheres.

Возведение гидроузлов вызывает сужение естественного водосливного фронта и приводит к размывам речного дна в отводящих каналах водосливных плотин [1].

Неблагоприятные русловые процессы в нижнем бьефе на этапах эксплуатации гидроузлов требуют создания устройств, отличающихся мобильностью развертывания и установки. Этим требованиям удовлетворяют струенаправляющие устройства, устанавливаемые в потоке и эффективно воздействующие на кинематику его придонной части [2].

Конструктивное оформление таких устройств может быть произведено на основе парусных систем из текстильных материалов [3]. Применение текстильных материалов в гидротехническом строительстве позволяет создавать легкие и надежные конструкции. Широкое применение текстильных материалов в мелиоративном и гидротехническом строительстве до

настоящего времени ограничивалось преимущественно созданием гибких плотин для малых рек и дамб с целью регулирования речного стока. В настоящей работе предлагается расширение использования текстильных материалов в сфере защиты нижних бьефов крупных гидротехнических сооружений от размыва, что позволит повысить эффективность действия гасителей энергии потока, сбрасываемого с верхнего бьефа, в результате применения предлагаемых устройств, отличающихся мобильностью установки и регулирования гидравлических параметров на этапах эксплуатации гидроузлов.

В качестве гибкой струенаправляющей конструкции может использоваться струенаправляющая система на основе системы гибких парусов из текстильных материалов, расположенных на сети из вертикальных и горизонтальных канатных опор (рис. 1-а).

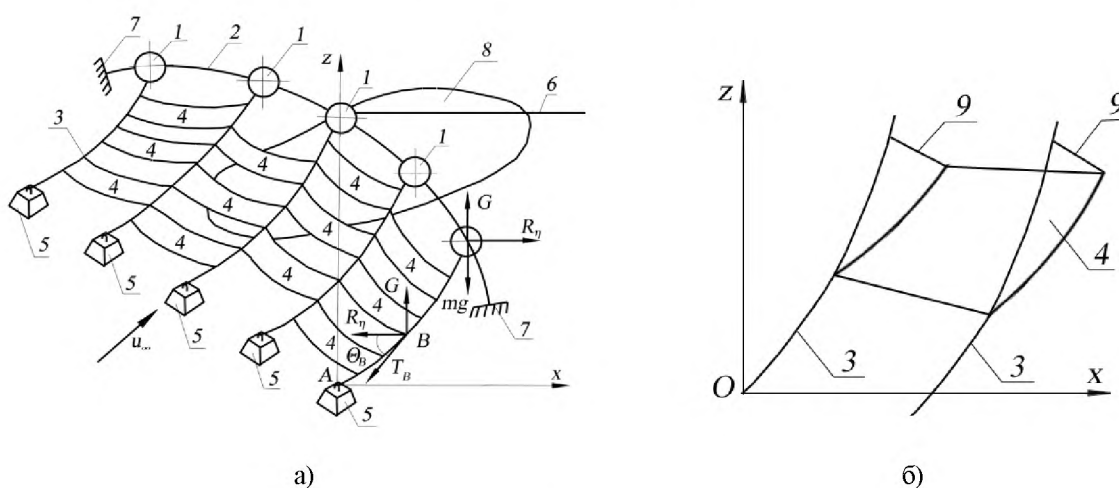


Рис. 1

На рис. 1 представлена схема руслоформирующей парусной системы из текстильных материалов: а – общий вид парусной системы; б – схема присоеди-

нения парусного элемента: 1 – плавучие сферические поплавки; 2 – горизонтальный канат, удерживающий поплавки на заданном расстоянии; 3 – вертикальные канаты,

связывающие поплавки 1 с донными якорями-присосами 5; 4 – парусный элемент; 6 – линия горизонта свободной поверхности, 7 – береговые опоры горизонтального каната, 8 – область размыва; 9 – лееры, регулирующие положение элемента 4 относительно вертикальных канатов 3.

Вертикальные канатные опоры струенаправляющей системы крепятся за донные якоря-присосы и удерживаются вблизи свободной поверхности сферическими поплавками. Канаты, расположенные в плоскостях, параллельных свободной поверхности, связаны с вертикальными канатами в местах пересечения. Паруса в шахматном порядке закреплены на сети, образуемой системой канатов. Конструкция является мобильной за счет использования легких текстильных материалов и предназначена для регулирования стока наносов и предупреждения образования воронки размыва дна нижнего бьефа.

Руслоформирующая система из текстильных материалов работает следующим образом. Поток, движущийся после водослива от концевых сооружений нижнего бьефа, воздействует на паруса 4, заставляя их перемещаться вниз по течению. Горизонтальные 2 и вертикальные 3 канаты и лееры 9 удерживают паруса 4 за счет соединения с якорями-присосами 5. Плавающие сферы 1 выбираются в результате расчета таким образом, чтобы нагрузка от парусов 4 компенсировалась запасом плавучести. Пространства между парусами 4 являются системой формирования струй.

Парусные струенаправляющие элементы из текстильных материалов с некоторым приближением могут быть заменены системой плоских пластин, которые вызывают разделение основного потока на отдельные струи заданного направления. Изменение направления струй, формируемых системой, производится леерами (рис. 1-б).

Для расчета характеристик струй, формируемых системой из текстильных материалов, использована модель А.Я. Миловича [4], в соответствии с которой на параллельные пластины АВ и CD шириной a , расположенные в плоскости xy на расстоянии ℓ , набегает поток под углом φ (рис. 2 – формирование струи в следе за смежными пластинами).

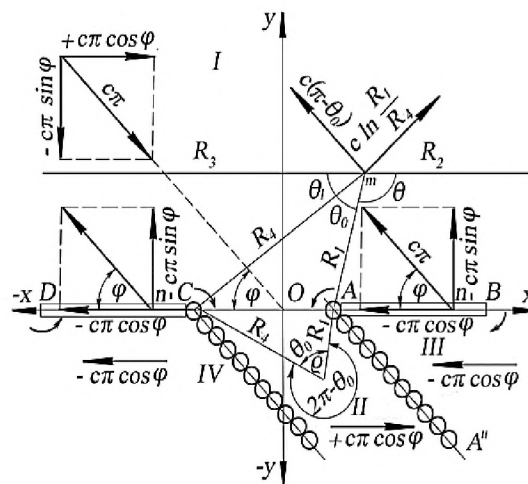


Рис. 2

В произвольной точке пространства m наклонные вихревые слои AA'' , BB'' и CC'' , DD'' индуцируют тангенциальную $C(\theta - \theta_1)$ и нормальную вихревым слоям $C \ln(R_1 R_3 / R_2 R_4)$ составляющие скорости, где θ и θ_1 – углы, под которыми из точки m видна ширина пластин АВ и CD, а C – напряжение вихрей [5].

Ниже приводится фрагмент методики расчета индуцированных скоростей для различных областей потока при воздействии струеобразующей решетки.

В области II, ответственной за формирование системы струй, за плоскостью пластин, между вихревыми слоями, скорость составляет (рис. 2):

$$W_{II} = \sqrt{C^2 \left[\left(2\pi \cos\left(\frac{\pi}{180}\varphi\right) + \ln\left(\frac{R_1}{R_4}\right) \sin\left(\frac{\pi}{180}\varphi\right) \right)^2 + (2\pi - \theta_0^2) \sin\left(\frac{\pi}{180}\varphi\right)^2 \right]}, \text{ м/с.}$$

Аналогичную структуру имеют зависимости для определения скоростей в областях перед плоскостью пластин и за плоскостью пластин.

Для анализа эффективности работы системы защиты нижних бьефов гидроузлов, выполненной из текстильных материалов, используются графики изменения давления в зависимости от глубины погружения точки относительно свободной поверхности (рис. 3 – изменение давления от погружения точки относительно свободной поверхности потока, формируемого решеткой системы гибких парусов из текстильных материалов: а – давление в области I перед плоскостью пластин; б – давление в бесконечности перед плоскостью пластин; в – в

давление в области II за плоскостью пластин, между вихревыми слоями, вдоль вытекающей струи; д – давление в середине щели при $R_1 = R_4$ и $\theta'_0 = \pi$; е – давление в области III и IV, за плоскостью пластин, за вихревыми слоями, вне струи), построенные в автоматизированной среде MathCAD [6] для условий водоотводящего канала водосливной плотины Чебоксарской ГЭС [2]. Для расчета задаются: удельный расход, скорость течения в нижнем бьефе, глубина потока, угол наклона струи к потоку, расстояния от краев щели в парусной структуре до заданной точки потока, напряжение вихря, обеспечивающее эффективное воздействие на поток, плотность воды в функции температуры, гидростатическое давление в функции глубины погружения точки.

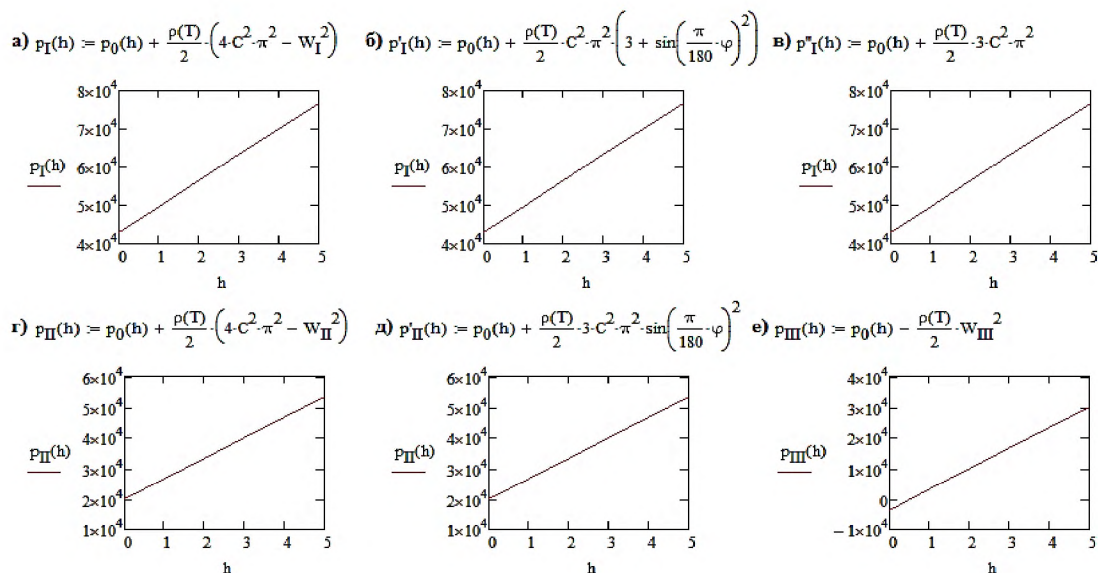


Рис. 3

Удерживающие верхнюю часть сетчатой текстильной конструкции плавучие сферы рассчитываются по величине выталкивающей силы с учетом плотности воздуха и воды.

На основании табличных значений температуры и плотности воздуха [7] сплайн-интерполяция в среде MathCAD возвращает вектор значений коэффициента кинематической вязкости и плотность воздуха в функции от температуры.

При вводе в автоматизированную среду MathCAD значений радиуса сферы, толщины и плотности материала сферы, ускорения свободного падения, температуры программа позволяет вывести следующие ее параметры: площадь поверхности и объем сферы, объем материала сферы, массу и вес сферы, массу и вес воздуха в объеме сферы, массу и вес вытесненной сферой воды.

Для удержания плавучих сфер в стационарном состоянии используется система

вертикальных канатов (рис. 4-а) [8], которая рассчитывается в среде MathCAD. На рис. 4 показан расчет вертикальных и горизонтальных канатов в среде MathCAD: а – схема вертикальных канатов сетчатой несущей конструкции;

б – схема горизонтальных несущих канатов сетчатой несущей конструкции; в – результаты расчета горизонтальных несущих канатов сетчатой несущей конструкции.

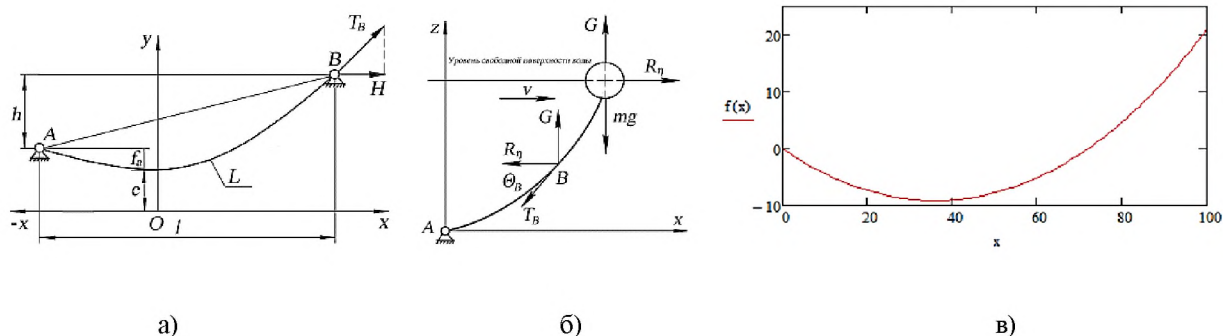


Рис. 4

Исходными данными для автоматизированного расчета являются: выталкивающая сила, действующая со стороны сферы, площадь поперечного сечения сферы, динамическая и кинематическая вязкость, объемный вес воды в функции температуры, скорость на входе в воронку размыва в нижнем бьефе, коэффициент гидравлического сопротивления каната.

В результате автоматизированного расчета выводятся следующие параметры: сила лобового сопротивления шарового тела, определяемая по формуле А.Н. Крылова [9], натяжение каната, угол примыкания каната в верхней точке, диаметр каната, модуль удельной силы давления потока, параметр гибкой нити, величина сноса плавучей сферы, длина растянутого каната.

Для соединения сферических плавучих объектов между собой используются системы горизонтальных канатов [8], закрепленных за береговые (донные) опоры (рис. 4-б).

В качестве исходных данных для расчета горизонтальных несущих канатов сетчатой несущей конструкции в MathCAD определены: стрелка провеса, распределенная нагрузка, касательные напряжения в опорных точках и силы, действующие на опоры.

Решение системы уравнений проведено на основе встроенных в автоматизированную среду MathCAD функций Given и Find.

График провеса каната, полученный на основе ввода конкретных значений параметров системы, приведен на рис. 4-в.

Степень надежности руслоформирующей парусной системы определяется надежностью ее парусных элементов, обеспечивающих статическую и гидравлическую устойчивость сооружения в целом. Основная идея, заложенная в конструкции, заключается в использовании гибких материалов в качестве парусных элементов, которые изготавливаются из композиционных материалов и могут быть выполнены из составных полотнищ. Для производства композиционных материалов, испытывающих в процессе эксплуатации нагрузки различного характера, широко используются современные текстильные материалы [10]. Парусный элемент должен иметь силовой пояс, предназначенный для передачи давления потока на береговые опоры, донные якоря и плавучие сферы через несущие канаты [3]. Для изготовления гибких элементов подходит композиционный резиноканевый материал, основными частями которого являются силовой тканый каркас и защитные резиновые покрытия. В гидротехническом строительстве наибольшее распространение получили армированные резиновые ткани (ТК-50, ТК-100, ТК-200, ТУ-8729), материалы из поливинилхлорида (UNISOL-350), анизотропные композитные материалы из полиэстера и полипропилена (GT 1000M, NA 940, Vina Gard

51-19, LP-300, GTF-300, MIRAFLI 600X, Vina Gard 51-22), обладающие большой прочностью на разрыв, стойкостью к изгибу и малым весом.

ВЫВОДЫ

1. Предложенные для защиты дна нижнего бьефа гидротехнических сооружений от размыва струенаправляющие парусные системы из текстильных материалов позволяют минимизировать общестроительные и русловые работы по установке конструкции, интегрировать устройства защиты от размыва в состав капитальных гидротехнических сооружений, повысить эффективность регулирования гидравлических параметров.

2. Замена парусных струенаправляющих элементов из текстильных материалов системой плоских пластин, разделяющих поток на отдельные струи, позволила использовать методику расчета кинематических характеристик струеобразующей решетки на основе модели А.Я. Миловича.

3. Расчет удерживающих верхнюю часть сетчатой текстильной конструкции плавучих сфер, несущих вертикальных и горизонтальных канатов позволил определить геометрические параметры системы, силы натяжения и величины стрел провеса канатов.

4. Установлено, что степень надежности руслоформирующей парусной системы из текстильных материалов определяется конструктивными особенностями парусных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuznetsova Y.A. Modeling of local scours in hydrosystem tailraces// (2015) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. –1 (3), 2015. P.437...444.

2. Кузнецова Ю.А. Средства инженерно-экологической защиты нижних бьефов гидроузлов. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014.

3. Борисовец Ю.П. Гибкие лесосплавные плотины. – М.: Лесная промышленность, 1979.

4. Милович А.Я. Теория динамического взаимодействия тел и жидкости. – М.: Госстройиздат, 1955.

5. Greenhalgh S., Curtiss Jr. H. C., Smith B. Aerodynamic properties of a two-dimensional inextensible flexible airfoil // AIAA Journal. –Vol. 22, №7, 1984. P.865...870.

6. User's Guide. MathCAD 14.0. USA: Parametric Technology Corporation, 2007.

7. Chow T.L. Mathematical methods for physicists: a concise introduction. – New York, Melbourne: Cambridge Univ. Press, 2000.

8. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. – М.: Наука, 1980.

9. Olver F. NIST Handbook of Mathematical Functions. – New York: NIST and Cambridge University Press, 2010.

10. Tong L., Mourilz A.P., Bannister M.K. 3D Fibre Reinforced Polymer Composites –Elsevier, 2002.

REFERENCES

1. Kuznetsova Y.A. Modeling of local scours in hydrosystem tailraces// (2015) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. –1 (3), 2015. P.437...444.

2. Kuznetsova Ju.A. Sredstva inzhenerno-ekologicheskoy zashhity nizhnih b'efov gidrouzlov. – Yoshkar-Ola: PGU, 2014.

3. Borisovets Ju.P. Gibkie lesosplavnye plotiny. – M.: Lesnaya promyshlennost', 1979.

4. Milovich A.Ja. Teorija dinamicheskogo vzaimodejstviya tel i zhidkosti. – M.: Gosstrojizdat, 1955.

5. Greenhalgh S., Curtiss Jr. H. C., Smith B. Aerodynamic properties of a two-dimensional inextensible flexible airfoil // AIAA Journal. –Vol. 22, №7, 1984. P.865...870.

6. User's Guide. MathCAD 14.0. USA: Parametric Technology Corporation, 2007.

7. Chow T.L. Mathematical methods for physicists: a concise introduction. – New York, Melbourne: Cambridge Univ. Press, 2000.

8. Merkin D.R. Vvedenie v mehaniku gibkoj niti. – M.: Nauka, 1980.

9. Olver F. NIST Handbook of Mathematical Functions. – New York: NIST and Cambridge University Press, 2010.

10. Tong L., Mourilz A.P., Bannister M.K. 3D Fibre Reinforced Polymer Composites –Elsevier, 2002.

Рекомендована кафедрой строительных конструкций и водоснабжения ПГТУ. Поступила 19.12.16.