

РАСЧЕТ КРЕПЛЕНИЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НИЖНИХ БЬЕФОВ ГИДРОУЗЛОВ ОТ РАЗМЫВА

Кузнецова Ю.А.

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3), e-mail: KuznecovaYA@volgatech.net

Для защиты нижних бьефов гидроузлов от размыва предложено устройство на основе погруженных в поток профилей из гибких материалов. Конструкция предназначена для периодического регулирования деформации нижнего бьефа. Регулирование глубины погружения профилей и их удержание в потоке осуществляется системой несущих элементов, которые крепятся за береговые опоры. Рассмотрены варианты исполнения береговых опор и способы крепления несущих элементов – стальных канатов. Приведены требования к расположению береговых опор и несущих элементов. В качестве расчетной нагрузки на береговую опору принято расчетное натяжение несущего элемента, расположение которого подчиняется закону цепной линии. Составлена схема равновесия участка цепной линии. В результате статических расчетов найдены геометрические и силовые характеристики системы гидродинамических профилей и удерживающих их несущих элементов. Все расчеты выполнены в автоматизированной программной среде MathCAD для принятых исходных параметров системы. Получены графические зависимости для расположения несущих элементов и их натяжения. Расчет позволил выбрать диаметр каната по предельной нагрузке.

Ключевые слова: гидроузел, защита от размыва, гидродинамический профиль, несущий элемент, береговая опора, расчетная нагрузка, цепная линия, натяжение каната, предельная нагрузка.

CALCULATION OF FIXINGS OF DEVICES FOR HYDROSYSTEM TAILRACE PROTECTION AGAINST EROSION

Kuznetsova Y.A.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, Lenin Square, 3), e-mail: KuznecovaYA@volgatech.net

To protect the hydrosystem tailraces against erosion, the device is proposed on the basis of profiles, submerged in the flow, made of flexible materials. This design is intended for the periodic regulation of sediment yield. Regulation of depth of submergence of the profiles and their retention in the stream is performed by the system of load-bearing elements, which are fixed on the abutments. Versions of the abutments and methods of fixing of the load-bearing elements – steel ropes are considered. Requirements for location of the abutments and load-bearing elements are provided for. As the design load for the abutment, a design tension of the load-bearing element is taken, which position follows the catenary law. Scheme of catenary sector equilibrium is made. As a result of static calculations, geometrical and power characteristics of the system of hydrodynamic profiles and load-bearing elements are found. All calculations are performed in MathCAD automated software environment for adopted input parameters of the system. Graphic dependences for the location of the load-bearing elements and their tension are established. The calculation allowed us to choose the diameter of the rope at limit load.

Keywords: hydrosystem, protection against erosion, hydrodynamic profile, load-bearing element, abutment, design load, catenary, rope tension, limit load.

Эксплуатация водопропускных сооружений гидроузлов в ряде случаев приводит к возникновению локального размыва за концевыми креплениями дна нижнего бьефа. Так на этапе эксплуатации Чебоксарского гидроузла при съемке дна в марте 1982 года был обнаружен глубокий локальный размыв в створе третьей и четвертой секций водосливной плотины.

Для защиты нижних бьефов гидроузлов от размыва на этапах эксплуатации требуется создание мобильных гидродинамических систем, предназначенных для периодического

регулирования деформации нижнего бьефа. Подобные системы могут быть разработаны на основе гидродинамических профилей, систем гидравлически коротких трубопроводов или парусных конструкций со струенаправляющими клинкетами. Для установки их в поток, регулирования глубины погружения и положения по отношению к области размыва требуется система несущих элементов и береговые опоры.

Объектом исследования являются системы несущих элементов и береговых опор, предназначенных для крепления устройств защиты нижних бьефов гидроузлов. Предмет исследования состоит в определении геометрических и силовых параметров креплений средств защиты от размыва.

Предлагаемая конструкция устройства для инженерно-экологической защиты нижних бьефов гидроузлов от размыва основана на применении гибкого рыбообразного профиля, помещенного в поток в его придонной части [3, 4] (рис. 1).

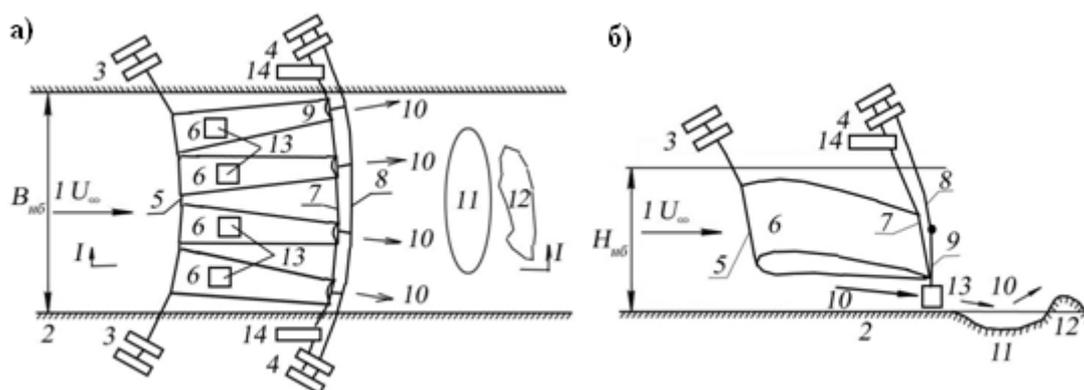


Рис. 1. Схема устройства для защиты нижних бьефов гидроузлов от размыва: а – план; б – поперечный разрез; 1 – речной поток; 2 – урез берега; 3 – основные опоры; 4 – береговые опоры; 5 – несущий передний канат; 6 – гибкий профиль; 7 – несущий задний канат; 8 – регулирующий канат; 9 – леер; 10 – руслоформирующий поток; 11 – область размыва; 12 – область русловых отложений; 13 – пригруз; 14 – натяжное устройство

Береговые опоры 4 служат для крепления несущих элементов – канатов 5, 7, 8 и лееров 9, воспринимающих давление воды на профиль. В опорных устройствах профиля с гибкими элементами могут быть использованы типовые береговые опоры, предназначенные для восприятия нагрузок от лесозадерживающих запаней. В дополнение к требованиям «Инструкции по изысканию, проектированию, строительству, монтажу и эксплуатации запаней» [2] выдвигается обязательное условие по их высотному расположению. Высотное расположение береговых опор профиля должно обеспечивать его статическую устойчивость при достижении нормального подпорного уровня (НПУ). Разбивка местоположения стационарных береговых опор устройства выполняется по принятой для НПУ расчетной ширине водохранилища B и плановой стреле провеса несущих канатов. Угол подхода несущих канатов к урезу воды α рекомендуется принять равным 51° . Монтажные опоры располагаются в створе верхней (по

течению реки) кромки гибкого профиля на расстоянии примерно 10 м от уреза воды при НПУ.

Несущие элементы устройства представляют собой стальные канаты, концы которых крепятся на берегу с помощью петель за вертикальные цилиндрические анкеры опор.

Нагрузки, действующие на погруженные в поток профили, передаются на береговые опоры через несущие канаты. В качестве расчетной нагрузки на береговую опору принимается расчетное натяжение несущего каната. Вертикальные нагрузки уравниваются силой водоизмещения корпусов профилей (при их наполнении воздухом). Боковые нагрузки в горизонтальном направлении обусловлены действием течений.

Расположение каната подчиняется закону цепной линии, поэтому введем следующие обозначения: x_0, y_0 – координаты точек цепной линии; a – параметр цепной линии; \bar{q} – нагрузка на единицу длины цепи; η, ζ – горизонтальная и вертикальная проекции провеса цепной линии; \bar{H} – горизонтальная составляющая натяжения цепи (распор); S – длина цепной линии (AB) от ее нижней точки (рис. 2); $T(y_0)$ – полное натяжение каната в точке с ординатой y_0 ; \bar{T} – полное натяжение в цепной опоре (точка A); $\alpha(x)$ – углы наклона касательных в точках цепных линий к горизонту.

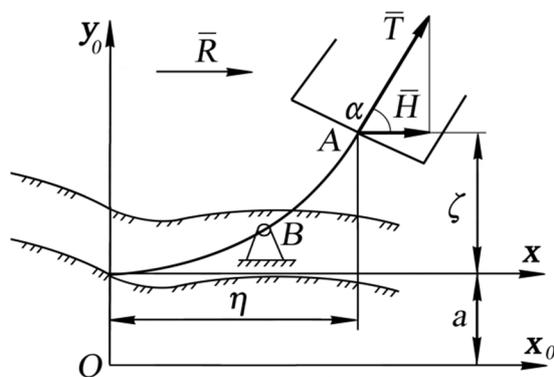


Рис. 2. Схема равновесия участка цепной линии

Численное моделирование в среде MathCAD

Уравнение цепной линии имеет вид $y_0 = a \operatorname{ch} \frac{x_0}{a}$, где $a = \frac{H}{q}$ – параметр цепной линии,

м; $H = qa$ – горизонтальная нагрузка, Н; $T = q(a + \zeta)$, $T(y_0) = qy_0$ – натяжение каната, Н;

$S = a \operatorname{sh} \frac{\eta}{a}$, $S(x_0) = a \operatorname{sh} \frac{x_0}{a}$ – стрела провеса; $\cos \alpha = \frac{H}{T}$, $\operatorname{tg} \alpha(x_0) = \frac{dy}{dx} = \operatorname{sh} \frac{x_0}{a}$ –

тригонометрические функции угла наклона каната. Горизонтальные составляющие натяжения постоянны во всех поперечных сечениях каната $H = qa = \operatorname{const}$.

Уравнение связи между действующей нагрузкой и смещением может быть линеаризовано.

В расчетах принято, что рабочая длина каната L равна 120 м. Количество секций гидродинамического профиля – 12. Ширина одной секции профиля – 10 м. Полуширина бычка (параметр цепной линии a) принята равной 2 м.

В результате статических расчетов в среде MathCAD найдены геометрические и силовые характеристики системы «канат – профиль».

Интерпретация результатов

При работе секций руслоформирующего профиля, испытывающих силу лобового сопротивления $X_n = 9,73 \cdot 10^4$ Н на секцию, распределенная нагрузка q равна 9,73 кН/м.

В результате расчетов получены графические зависимости для уравнения цепной линии (рис. 3) и натяжения каната (рис. 4). Из графиков следует, что на середине каната в точке стрелки провеса натяжение в канате $T = 584000$ Н. Эта величина является расчетной для выбора диаметра каната по предельной нагрузке.

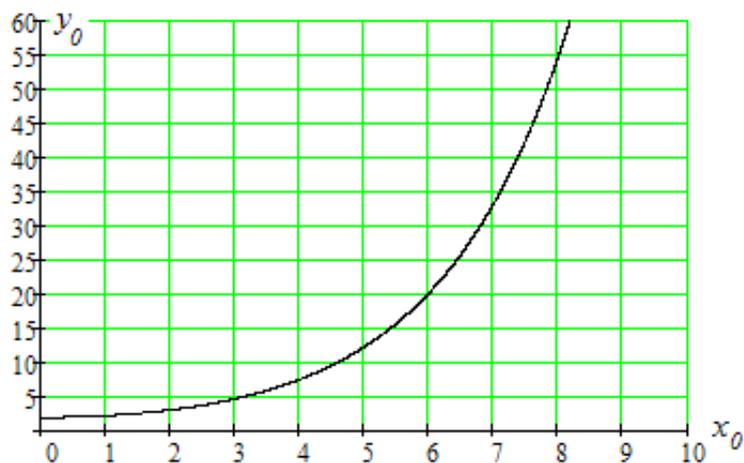


Рис. 3. График уравнения цепной линии $y_0 = a \cdot \operatorname{ch} \frac{x_0}{a}$

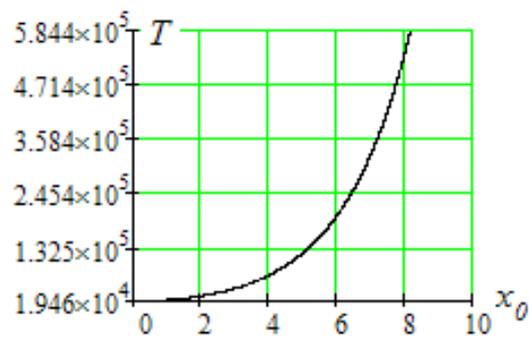


Рис. 4. Полное натяжение каната в точке с абсциссой x_0

Выводы

В результате статических расчетов в среде MathCAD найдены геометрические и силовые характеристики системы «канат – профиль». Определена сила лобового сопротивления гидродинамических профилей и значение распределенной нагрузки. Получены зависимости для уравнения цепной линии и натяжения каната, из которых в точке стрелки провеса определено натяжение в канате. Подбор диаметра каната рекомендуется осуществлять по рассчитанному значению предельной нагрузки.

Список литературы

1. Борисовец Ю.П. Гибкие лесосплавные плотины/ Ю. П. Борисовец. – М.: Лесн. промышленность, 1979. – 112 с.
2. Инструкция по изысканию, проектированию, строительству, монтажу и эксплуатации запаней. – М.: Минлесбумпром, 1971. – 103 с.
3. Кузнецова Ю. А. Средства инженерно-экологической защиты нижних бьефов гидроузлов: монография. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. – 260 с.
4. Патент № 2301297 РФ, МПК 3/02 (2006/01). Устройство для регулирования русловых процессов /Ю.А. Поздеева; Заявитель и патентообладатель Марийский гос. техн. университет. – 2005135899/03; заявл. 18.11.2005; опубл. 20.06.2007, Бюл. № 17. – 7 с.
5. Поздеева Ю. А. Разработка средств инженерно-экологической защиты сооружений нижнего бьефа Чебоксарского гидроузла. – Йошкар-Ола: Марийск. гос. техн. ун-т., 2005. – 58 с. Деп. В ВИНТИ 14.09.05, № 1223-B2005.

Рецензенты:

Полянин И.А., д.т.н., профессор, проф. кафедры транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола;

Царев Е.М., д.т.н., профессор, проф. кафедры технологии и оборудования лесопромышленных производств ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.