

УДК 627.52

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВЫХ ВОЛН НА ПЛАВУЧИЕ ВОЛНОГАСИТЕЛИ ИЗ НЕКОНДИЦИОННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Гайдуков Г.А.

Сибирский государственный технологический университет, Красноярск, e-mail: ivr@sibgtu.ru

После заполнения водохранилищ ГЭС начинается процесс интенсивного переформирования береговой линии. При этом величина размыва может быть очень значительной. Процесс размыва можно проследить на примере наполняющегося в настоящее время водохранилища Богучанской ГЭС, расположенного в лесопокрываемой зоне Нижнего Приангарья. Прогнозная величина отступления кромки берега за 100 лет на некоторых участках составит 170 м. В результате размыва в водохранилище ежегодно будут поступать тысячи тонн взвешенных веществ и более 170 тыс. м³ древесной массы. В целях снижения величин размыва предлагается использование запатентованных плавучих волногасителей коробчатого и пучкового (цилиндрического) типов из плавающей на акватории водохранилищ древесной массы. В статье приводятся различные методики расчета величины волнового воздействия на волногаситель, проводится их сравнительный анализ и предлагается свой метод расчета, имеющий ряд преимуществ.

Ключевые слова: Богучанская ГЭС, водохранилище, ветровые волны, размыв берегов, волногаситель

DYNAMIC EFFECT OF WIND WAVES ON FLOATING WAVE ABSORBERS BUILT FROM UNCONDITIONED WOOD

Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A., Gaydukov G.A.

Siberian state technological university, Krasnoyarsk, e-mail: ivr@sibgtu.ru

After filling of reservoir HPS begins the process of intensive deformation of coastline. The value of erosion can be very considerable. The process of erosion can be seen in the currently fills the reservoir Boguchanskaya HPS, which is located in the forested area of the Lower Angara. Prognostic value of the retreat edge coast from the erosion for 100 years in some areas is 170 m. In the reservoir annually will come tons of suspended solids and more than 170 thousand cubic meters of wood pulp. In order to reduce the values of erosion is proposed to use the patented floating wave absorbers box-type and bundle-type (cylindrical-type) built from floating wood pulp in the reservoirs. In this article describes the different methods of calculating the value of the wave impact to wave absorbers and presents a comparative analysis and proposes a method of calculation, which has several advantages.

Keywords: Boguchanskaya HPS, reservoirs, wind waves, coastal erosion, wave absorber

При наполнении водохранилищ ГЭС происходит интенсивное переформирование береговой линии. Процесс размыва береговой линии можно проследить на примере создаваемого (наполняющегося) в настоящее время Богучанского водохранилища.

При создании водохранилища Богучанской ГЭС, расположенного в лесопокрываемой зоне, будет затоплено около 10 млн м³ древесины, что обусловит ежегодное поступление на акваторию около 800 тыс. м³ плавающей древесной массы [5], в том числе около 175,0 тыс. м³ от размыва берегов.

Для снижения волновой нагрузки на берега водохранилищ предложен ряд плавучих волногасителей [6, 7].

Цель исследования – определение величины динамического воздействия ветровых волн на плавучие волногасители из некондиционной древесины, предложенные для применения на Богучанском водохранилище.

Материал и методы исследования

Плавучий волногаситель цилиндрического типа из хлыстовых пучков (рис. 1, а) рекомендуется для защиты участков береговой линии подверженных воздействию волн высотой до 2 м. Пучки плавучего волногасителя формируются с помощью такелажа из плавающей древесной массы на акватории водохранилища [7].

Плавучий волногаситель ящичного типа из некондиционной древесины и хлыстов (рис. 1, б) рекомендуется для использования на участках, где высота волны до 4 м. Формируется плавучий волногаситель ящичного типа с помощью такелажа и жестких каркасов, заполняемых плавающей древесной массой [6].

При определении волновой нагрузки на плавучие сооружения их принято рассматривать как подвижные преграды, в этом случае используют различные приближенные методы расчета волнового давления [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Набегающие на плавучие сооружения волны частично отражаются и частично проходят под преградой, обтекая ее. При этом сделаем следующие допущения: носовая плоскость непроницаемая для частиц жидкости; поперечное сечение плавучего волногасителя имеет прямоугольную форму, тело жесткое. В этом случае энергия набегающей волны должна равняться сумме энергий отраженной и проходящей волн. Для определения силового воздействия волн на стационарный или нестационарный плавучий объект достаточно найти разность энергий этих волн [2, 4].

$$\Delta F = F_1 - F_2, \quad (1)$$

где F_1 , F_2 – сила волнового давления на носовую и кормовую поверхности.

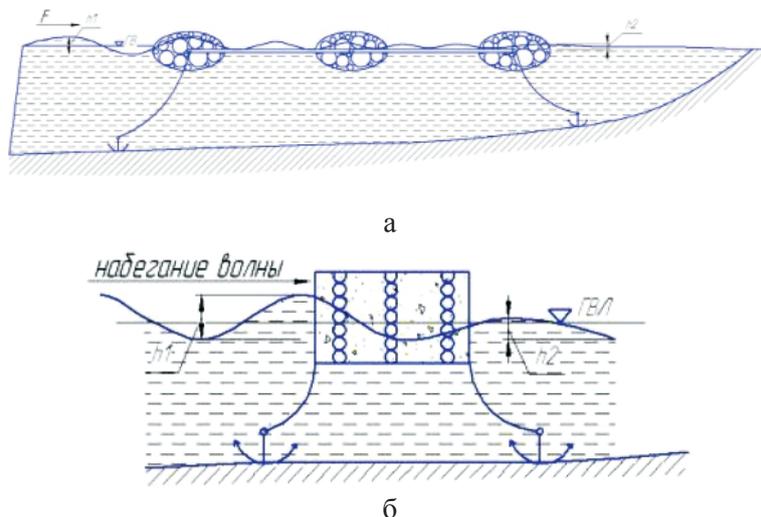


Рис. 1. Плавающий волногаситель:
а – цилиндрического типа; б – ящичного типа

При рассмотрении взаимодействия волн с плавучими волногасителями возможны три случая: $h > z$, $h < z$ и $h = z$ (где z – высота плавучего объекта, h – высота волны). Если $h \leq z$, в этом случае волновая нагрузка полностью передается на волногаситель. Если $h > z$ – носовая часть тела будет полностью зарываться в воду и в этом случае необходимо учитывать дополнительную нагрузку от подтопления носовой части.

Определим F_1 для случая $h \leq z$. Избыточное гидродинамическое давление в точке волны на глубине z определится по формуле, записанной для системы координат изображенных на расчетной схеме (рис. 2):

$$\frac{P - P_{ат}}{\rho} = gz - g \frac{ch[k(H-z)]}{ch(kH)} \xi, \quad (2)$$

где ξ – ордината точек профиля волны; P – гидродинамическое давление в точке волны; $P_{ат}$ – давление на свободной поверхности жидкости; g – ускорение свободного падения; k – волновое число ($k = 2\pi/\lambda$); λ – длина волны; ρ – плотность воды.

Для принятой системы координат в плоскости, совпадающей с лобовой гранью волногасителя, профиль волны описывается уравнением

$$\xi = \frac{h}{2} \cos \sigma\tau, \quad (3)$$

где $\sigma = 2\pi/\tau$ – угловая скорость или круговая частота; τ – период волны.

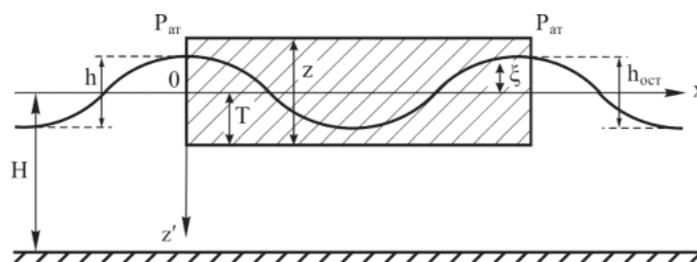


Рис. 2. Расчетная схема

Сила давления на переднюю грань площадью S определится интегрированием выражения

$$F_1 = g\rho \int_S \left(z - \frac{ch[k(H-z)]}{ch(kH)} \xi \right) dS. \quad (4)$$

Интеграл распространяется на смоченную часть передней грани площадью

$dS = Bdz$ (где B – ширина волногасителя, dz – элементарная высота).

Величину силы давления на переднюю грань можно определить интегрируя (4) в пределах от T до $T + \xi$ (где T – осадка)

$$F_1 = \rho g B \int_T^{T+\xi} zdz - \rho g B \int_T^{T+\xi} \frac{ch[k(H-z)]}{ch(kH)} \xi dz. \quad (5)$$

Интегрируя в заданных пределах, получим

$$F_1 = \frac{1}{2} \rho g B (2T\xi + \xi^2) - \frac{\rho g B \xi}{k \cdot ch(kH)} \cdot [sh[-k(H-T-\xi)] - sh[-k(H-T)]], \quad (6)$$

где ξ – высота волны у передней грани тела, $\xi = f + \varphi$; f – высота подходящей волны; φ – высота отраженной волны от передней грани.

Проведенные исследования показывают, что изменение высоты волны у передней грани тела за счет ее частичного отражения незначительно и составляет менее 0,5%, то есть для практических расчетов можно ее не учитывать [2].

Величина волнового давления на кормовую поверхность волногасителя может быть определена по формуле

$$F_2 = \rho g \int_s \left(z - \frac{ch[k(H-z)]}{ch(kH)} \xi_1 \right) dS, \quad (7)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \rho g B (2T\xi_1 + \xi_1^2) - \frac{\rho g B \xi_1}{k \cdot ch(kH)} \cdot [sh[-k(H-T-\xi_1)] - sh[-k(H-T)]]. \quad (8)$$

Определив силу волнового давления на носовую и кормовую поверхности, можно найти величину силового воздействия на волногаситель.

На рис. 3 представлены расчетные значения силы давления волны на волногаситель в зависимости от коэффициента гашения волны при различных параметрах,

где $\xi_1 = \frac{h_{\text{ост}}}{2} \cos \sigma \tau$ – уравнение профиля волны за телом; $h_{\text{ост}}$ – высота волны за телом после ее гашения.

Гашение волны можно оценить коэффициентом $\beta = h_{\text{ост}}/h$, величина которого принимается от 0 до 1 (при $\beta = 0$ наблюдается полное гашение волны, а при $\beta \approx 1$ – гашение волны не происходит).

Таким образом, при определении силы давления на кормовую поверхность необходимо вводить в расчет величину остаточного значения высоты волны $h_{\text{ост}} = \beta \cdot h$, представленную на расчетной схеме (рис. 2).

Учитывая, что $dS = Bdz$, введя пределы интегрирования и интегрируя (7), получим

воздействующих на него волн. В качестве исходных данных, характеризующих волногаситель (осадка T и ширина B) взяты параметры используемых лесосплавных пучков. Значения высоты и длины волны, а также глубин приняты для условий Богучанского водохранилища в соответствии с источниками [3].

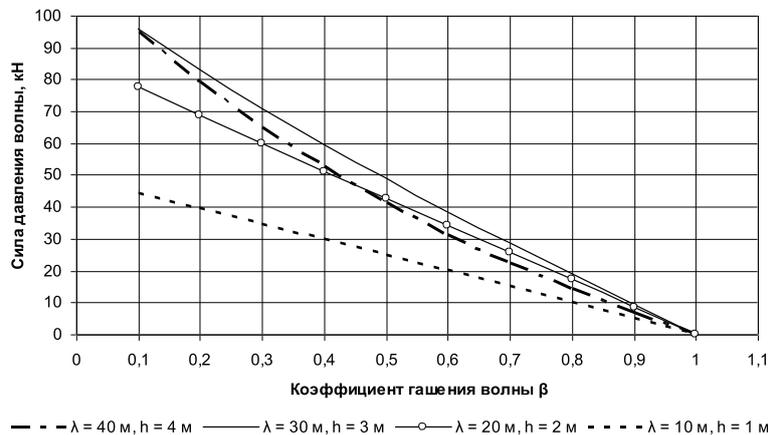


Рис. 3. График зависимости силы давления волны на волногаситель от коэффициента гашения волны (осадка $T = 1,2$ м; ширина $B = 8$ м; глубина $H = 10$ м)

Необходимо отметить, что работы по определению воздействия на плавучие волногасители, выполнялись и ранее. В качестве примера приведем следующие методики.

Из серии волногасителей, применяемых в области лесосплава, наиболее приемле-

мым для условия водохранилищ являются плавучие волногасители из хлыстовых пучков, исследованиями которых занималась Г.Т. Черможская [9].

Черможская Г.Т. проводила исследования волнового воздействия на плавучие волногасители из хлыстовых пучков, предна-

значенные для использования на акваториях водохранилищ, озер и рек при высоте волны до 2,4 м и длине волны в диапазоне от 25 до 52 м. Она отмечает отсутствие приемлемой методики расчета воздействия волн на пучковые волногасители, что приводит к ошибкам в определении усилий в якорных связях и отдельных конструктивных узлах волногасителя и часто является причиной разрушения их в период штормов.

Кроме того, при проектировании силы воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения могут быть определены по методике, изложенной в СНиП 2.06.04-82* [8].

Зависимости силы давления волны длиной 30 м, приходящейся на 1 погонный метр плавающего объекта, полученные по различным методикам, представлены на рис. 4.

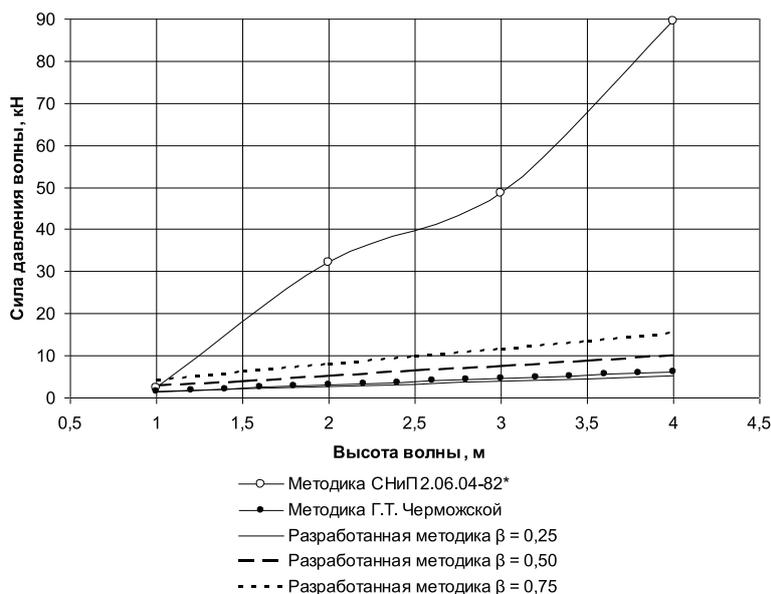


Рис. 4. Зависимость силы давления волны длиной 30 м от ее высоты на 1 пог. м плавучего волногасителя

Выводы

Анализ результатов, проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Коэффициент гашения, обеспечиваемый волногасителями цилиндрического типа, составляет $\beta = 0,6...1,0$. Для волногасителей ящичного типа этот коэффициент лежит в диапазоне $\beta = 0,5...0,7$, что свидетельствует о более эффективном гашении волны.

2. Предложенная методика позволяет производить расчет силы давления волны на волногаситель с учетом коэффициента гашения волны, который ранее не учитывался, но оказывал влияние на величину нагрузки.

3. Значения силы давления волны, полученные по методике Г.Т. Черможской, близки к полученным нами данным, хотя в ее методике отсутствуют сведения о степени гашения волны.

4. Значения силы давления волны, полученные по методике, приведенной в СНиП

2.06.04-82*, значительно превышают полученные нами данные. Это объясняется тем, что СНиП учитывает силу воздействия на жестко закрепленный (неподвижный) волногаситель и учитывает вертикальную составляющую волновой нагрузки.

5. В соответствии с предложенной методикой расчета нагрузки на волногасители, максимальное значение таковой на 1 погонный метр волногасителя цилиндрического типа составит около 10 кН, для волногасителей ящичного типа – около 15 кН.

Список литературы

1. Балашов Б.В. К вопросу определения волновой нагрузки на неподвижные и плавучие сооружения // Тр. координационных совещаний по гидравлике. – Вып. 91. – Л.: Энергия, 1970. – С. 183–187.
2. Басин А.М., Анфимов В.М. Гидродинамика судна. – Л.: Судостроение, 1961. – 684 с.
3. Богучанская ГЭС на реке Ангара: Технический проект. Том III. Водоохранилище и охрана окружающей среды. Кн. I. – М.: Гидропроект, 1976. – 219 с.
4. Корпачев В.П. Теоретические основы водного транспорта леса: монография. – М.: Академия Естественных наук, 2009. – 237 с.

5. Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Рябokon Ю.И. Загрязнение и засорение водохранилищ ГЭС древесно-кустарниковой растительностью, органическими веществами и влияние их на качество воды: монография. – М.: Академия Естественных наук, 2010. – 127 с.

6. Пат. RU 116 156 U1 МПК В02В 3/06. Сооружение для диссипации волновой энергии и защиты береговой полосы от размыва / В.П. Корпачев, И.В. Губин, А.А. Андрияс, А.И. Пережилин, М.А. Тихненко, Г.А. Гайдуков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «СибГТУ». – № 2011152574/13; заявл. 22.12.2011; опубл. 20.05.2012б, Бюл. № 14. – 3 с.

7. Пат. RU 116 157 U1, МПК В02В 3/06. Сооружение для диссипации волновой энергии и защиты береговой полосы от размыва / В.П. Корпачев, И.В. Губин, А.А. Андрияс, А.И. Пережилин, М.А. Тихненко, Г.А. Гайдуков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «СибГТУ». – № 2011152575/13; заявл. 22.12.2011; опубл. 20.05.2012а, Бюл. № 14. – 3 с.

8. СНИП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые ледовые, и от судов).

9. Черможская Г.Т. Исследование волнового воздействия на плавучие волноломы из хлыстовых пучков // Перспективы механизации рейдовых и лесоскладских работ на лесосплаве: сб. тр. ЦНИИ Лесосплава. – Вып. 27. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – С. 19–27.

References

1. Balashov B.V. *Tr. Coordinacionnih soveshanij po gidravlike. Vip. 91* [Proceedings of coordination conferences on hydraulics. Vol. 91]. Leningrad, 1970. pp. 183–187.

2. Basin A.M., Anfimov V.M. *Gidrodinamica sudna* [Ship hydrodynamics]. Leningrad, 1961. 684 p.

3. *Boguchanskaja GES na reke Angara: Tehniceskij proekt. Tom III. Vodohranilishhe i ohrana okruzhajushhey sredy. Kn. I* [Boguchanskaya HPS on the Angara River: Technical project. Vol. III. Reservoir and the environment. Book I.], Moscow, Gidroproekt, 1976. 219 p.

4. Korpachev V.P. *Teoreticheskie osnovy vodnogo transporta lesa* [Theoretical basis of water transport of wood], Krasnoyarsk, 2009. 237 p.

5. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andrijas A.A., Riabokon U.I. *Zagrjaznenie i zasorenie vodohranilish GES drevesno-kustarnikovoju rastitel'nostju, organicheskimii veshhestvami i vlijanie ih na kachestvo vody* [Pollution and contamination reservoirs HPS by trees and shrubs, organic substances and their effect on water quality], Moscow, 2010. 127 p.

6. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andrijas A.A., Gubin I.V., Gajdukov G.A., Tihnenko M.A. *Sooruzhenie dlja dissipacii volnovoy energii i zashity beregovoju polosy ot razmiva. Patent Rossii № 2011152574/13* [Construction for the dissipation of wave energy and protect the coastline from erosion. Patent for an invention]. Patent of Russia # 2011152574/13.

7. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andrijas A.A., Gubin I.V., Gajdukov G.A., Tihnenko M.A. *Sooruzhenie dlja dissipacii volnovoy energii i zashity beregovoju polosy ot razmiva. Patent Rossii no. 2011152575/13* [Construction for the dissipation of wave energy and protect the coastline from erosion. Patent for an invention]. Patent of Russia 2011152575/13.

8. СНИП 2.06.04-82*. *Nagruzki i vozdeystvija na gidrotehniceskie sooruzheniya (volnovye, ledovye i ot sudov)* [Loads and effects on hydraulic structures (wave, ice and from ships)], 1982.

9. Chermozhskaja G.T. *Sb. tr. CNII Lesosplava. Perspektivy mehanizacii rejdovyh i lesoskladskih rabot na lesosplave. Vyp. 27* [Collection of scientific works of the Central research institute of rafting of wood. Vol. 27], Moscow, 1977, pp. 19–27.

Рецензенты:

Лозовой В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесозаготовок, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», г. Красноярск;

Полетайкин В.Ф., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологий и машин природообустройства, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 07.05.2013.