

4. Kulachenko V.P. Akvakul'tura: ucheb. posobie. – Belgorod: Izd-vo BelGSKHA, 2011. – 96 s.
5. Maslova N.A., Hohlova A.P. Intensifikatsiya vosproizvoditel'noy funktsii u svinomatok. – Belgorod: Belgorodskaya oblastnaya tipografiya, 2014. – 201 s.
6. Povyshenie vosproizvoditel'noy sposobnosti sviney / G.S. Pohodnya, P.P. Kornienko, A.V. Kovrigin [i dr.]. – Belgorod: Izd-vo GiK, 2013. – 180 s.
7. Povyshenie produktivnosti sviney na promyshlennom komplekse / G.S. Pohodnya, E.G. Fedorchuk, N.A. Maslova [i dr.]. – Belgorod: Izd-vo BelGSKHA, 2012. – 104 s.
8. Pohodnya G.S., Kovrigin A.V., Fedorchuk E.G. Vliyanie prodolzhitel'nosti past'by hryakov na ih vosproizvoditel'nyuyu funktsiyu // Sb. nauch. tr. nauchnoi shkoly professora G.S. Pohodni. Vyp. 1 / pod red. G.S. Pohodni. – Belgorod: Izd-vo BelGSKHA, 2008. – S. 40–44.
9. Praktikum po svinovodstvu / G.S. Pohodnya, A.V. Kovrigin, E.G. Fedorchuk [i dr.]. – Belgorod: Izd-vo BelGSKHA, 2007. – 266 s.
10. Razrabotka ehlementov innovacionnoj avtomatizirovannoi akvaponnoi tekhnologii proiz-vodstva sel'skohozyajstvennoj produktsii / A.V. Kovrigin, V.P. Kulachenko, R.A. Isaev [i dr.] // Belgorodskiy agromir. – 2015. – № 3. – S. 8–10.
11. Hohlova A.P. EHffektivnost' ispol'zovaniya simmental'skogo i obrakskogo skota pri chistoporodnom razvedenii i skreshchivanii. – Belgorod: Izd-vo BelGSKHA, 2013. – 159 s.



УДК 532.593.7:556.557

А.И. Пережилин, И.В. Берестов,
К.Х. Рахимов, А.А. Попова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ВОЛН НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ ПЛАВУЧИМИ ВОЛНОГАСИТЕЛЯМИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ*

В статье приводятся данные, позволяющие дать оценку абразионных процессов, наблюдаемых при формировании берегов водохранилищ. Обоснована необходимость снижения ветроволновой нагрузки на берега водохранилищ с помощью плавучих волногасителей. Установлены теоретические зависимости для определения величины волнового воздействия на плавучий волногаситель, учитывающие параметры волногасителя и волны, коэффициент гашения. Коэффициент гашения волны – это величина, показывающая отношение высоты волны за волногасителем к высоте подходящей волны, т. е. во сколько раз уменьшается высота волны после прохождения волногасителя; может находиться в пределах от 0 (происходит полное гашение) до 1 (гашение не происходит). Рассматриваются результаты экспериментальных исследований на моделях эффективности работы плавучих волногасителей различных конструкций для условий водохранилищ. Жесткие волногасители обеспечивают лучшее гашение волны (коэффициент гашения до 0,2), но представляют собой громоздкие массивы, и применение их сопряжено с определенными трудностями. Поэтому на кафедре использования водных ресурсов СибГТУ были разработаны конструкции плавучих волногасителей цилиндрического и ящичного типов из плавающей на акватории водохранилищ древесины. Коэффициент гашения, обеспечиваемый заякоренными волногасителями цилиндрического типа, достигает 0,6, а волногасителей ящичного типа – 0,5. Жесткое закрепление волногасителя позволяет увеличить эффективность диссипации энергии волн до 50 %. Учитывая масштабы, транспортную доступность, наличие трудовых ресурсов и строительных материалов, применение на водохранилищах разработанных плавучих волногасителей для защиты берега от размыва наиболее выгодно, и позволит не только снизить размыв, но и очистить акваторию от плавающей древесной массы.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках научного проекта № 05/15.

Ключевые слова: водохранилище, ветровые волны, размыв берегов, плавучий волногаситель, диссипация, берегозащита.

A.I. Perezhilin, I.V. Berestov,
K.Kh. Rakhimov, A.A. Popova

STUDYING OF DISSIPATION OF WAVE ENERGY EFFECT ON THE WATER RESERVOIR FLOATING WAVE ABSORBERS OF DIFFERENT DESIGNS

The article presents the data to assess the abrasion processes observed during the formation of the reservoir banks. The necessity of reducing loading wind waves on the reservoir banks from floating wave absorbers was shown. Theoretical curves to determine the amount of wave action on floating wave absorber, taking into account the parameters wave of absorber and wave, extinction coefficient were established. Extinction coefficient wave is a value that indicates the ratio of wave heights up to and after of wave absorber, i.e. how many times the wave height decreases after passing wave absorber; may range from 0 (complete extinction occurs) to 1 (extinction does not occur). The results of experimental studies on the effectiveness of the models floating wave absorber different designs for reservoir conditions are given. Hard wave absorbers provide better extinction wave (extinction coefficient 0,2), but are bulky arrays and their use is associated with certain difficulties. Therefore, at the department of use water resources SibS-TU floating wave absorbers of cylindrical type and box-type, of floating wood on the water reservoirs have been developed. Extinction coefficient provided by anchored wave absorber cylindrical type is 0,6 and box-type is 0,5. Rigidly mounted wave absorber can increase the efficiency of energy dissipation of waves up to 50 %. Given the scope, accessibility, availability of labor and building materials, the use of designed floating wave absorber on reservoirs to protect the shore from erosion is most profitable, and will allow not only to reduce erosion but also to clear water area from floating wood pulps.

Key words: reservoir, wind waves, coastal erosion, floating wave absorber, dissipation, coastal protection.

Введение. Образование водохранилищ при строительстве водоподпорных плотин ГЭС, связанное с созданием огромных запасов воды за счет перераспределения стока и затоплением значительных территорий площади водосбора, оказывает мощное всестороннее влияние на окружающую среду, которое сказывается, как правило, по прошествии ряда лет.

Из всего многообразия проблем, создаваемых водохранилищами [1], наибольшую опасность представляет процесс формирования новой береговой линии (размыв берегов), приводящий к повышению количества поступающих загрязняющих веществ, засорению акватории древесиной, увеличению площади мелководных зон и интенсивному заилению водохранилища, а также безвозвратной потере земель и необходимости применения берегозащитных мероприятий или переноса объектов с берегов. Для этого, в соответствии с требованиями СанПиН 3907-85, специализированной проектной организацией разрабатывается прогноз берегообрушения на начальную стадию (10-летний период, когда происходит наиболее интенсивная берегопереработка) и конечную стадию с учетом волновой и оползневой переработки берегов [2], а процесс стабилизации берега растягивается на десятилетия.

При этом протяженность размываемых берегов на водохранилищах достигает 50–70 % и более от периметра береговой линии, а ежегодное отступление кромки берега составляет десятки и сотни метров [1], что обуславливает значительные финансовые затраты и определенные трудности при реализации берегозащитных мероприятий.

Цель исследований: определение величины волновой берегопереработки на водохранилищах и оценка эффективности работы плавучих волногасителей.

Для достижения поставленной цели были сформулированы **задачи:**

- 1) оценить масштабы волновой берегопереработки на водохранилищах;
- 2) рассмотреть возможные мероприятия по защите берегов от размыва;
- 3) провести теоретическое и экспериментальное исследование динамического воздействия

ветровых волн на плавучие волногасители и определить эффективность диссипации ими энергии волн.

Материалы и методы исследований. Материалами для исследования послужили данные о фактической и прогнозной переработке берегов на водохранилищах ГЭС Сибири и разработанные на кафедре использования водных ресурсов СибГТУ конструкции плавучих волногасителей из некондиционной древесины.

Производилось теоретическое определение зависимости величины гашения волны от параметров волногасителя и воспринимаемого динамического воздействия, экспериментальное (лабораторное) исследование на моделях эффективности работы плавучих волногасителей различных конструкций для условий водохранилищ.

Результаты исследований. Водоохранилища ГЭС характеризуются индивидуальным набором показателей (природно-климатических, инженерно-геологических, морфометрических и т. д.), что обуславливает различные масштабы проявления и развития на их берегах абразионно-эрозионных процессов (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика водохранилищ ГЭС на Енисее и Ангаре

Показатель	Водоохранилище (год первого заполнения до нормального подпорного уровня)						
	Саяно-Шушенское (1990)	Майнское (1984)	Красноярское (1970)	Иркутское* (1959)	Братское (1967)	Усть-Илимское (1977)	Богучанское (2015)
Площадь зеркала водохранилища, км ²	621	11	2000	154	5470	1922	2326
Полный объем водохранилища, км ³	31,3	0,1	73,3	2,1	169,3	59,4	58,2
Величина сработки уровня, м	40	5	20	1	10	2	1
Протяженность водохранилища, км	312	22	380	55	570	302	375
Общая длина береговой линии, км	1364	47	1560	275	6036	2384	2430
Доля абразионно-размываемых берегов, %	9	98	71	38	41	26	32

* Только ангарская часть водохранилища (без учета подпора оз. Байкал).

На процесс переформирования берегов водохранилищ оказывают влияние гидрологические факторы (ветровое волнение, вдольбереговые течения, колебания уровня, ледовые явления и физико-химические свойства воды), инженерно-геологическое строение берегов (состав и прочность слагающих грунтов), морфология водохранилища, а также характер и плотность растительности на берегах. В сужениях, как правило, разрушение берегов незначительно в сравнении с участками расширений. Интенсивность берегопереработки при наполнении и эксплуатации водохранилища также различна. При этом даже в период эксплуатации водохранилища этот процесс является дискретным (сначала происходит его интенсификация, а затем постепенное затухание вплоть до полной стабилизации берегового профиля и положения кромки берега). Основной причиной абразии берегов водохранилищ являются ветровые волны. Ветроволновой режим, обуславливаемый географическим расположением, ветровым режимом и морфологией акватории, как для различных водохранилищ, так и для отдельных их участков характеризуется значительным разнообразием [1].

Рассмотрим данный вопрос на примере Богучанского водохранилища, заполнившегося до отметки нормального подпорного уровня в июне 2015 года.

Богучанское водохранилище (четвертое в Ангарском каскаде), протяженностью по средней линии 375 км, площадью зеркала 2326 км², максимальной шириной 15 км и глубиной до 75 м, располагается в нижнем течении реки Ангара. Протяженность береговой линии – 2430 км, из которых 1388 км – берега заливов. В районе водохранилища долина Ангары имеет сложное геологическое строение, и по морфологическим условиям акватория подразделяется на пять районов (три сужения и два расширения) (рис. 1). Сложная конфигурация водохранилища определяет большое разнообразие параметров ветрового волнения. Высота волны, в зависимости от скорости ветра, продолжительности и направления (длины разгона), будет достигать 1,1–4,0 м [3].

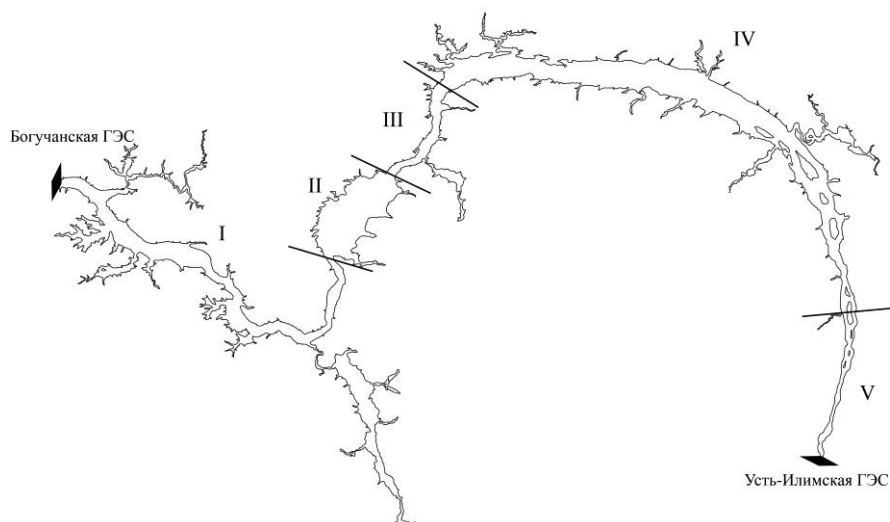


Рис. 1. Морфологические районы Богучанского водохранилища:
I – приплотинный; II – Тургеневское расширение; III – Кутарейское сужение;
IV – Кежемское расширение; V – Невонское сужение

В соответствии с прогнозом формирования берегов, выполненным в работе [3], абразионные берега имеют протяженность 766 км (табл. 2). Таким образом, суммарная потеря земель за счет размыва берегов Богучанского водохранилища за 10 лет может составить 48,1 км², что свидетельствует о необходимости проведения берегозащитных мероприятий.

Таблица 2

Морфометрическая характеристика ложа Богучанского водохранилища

Район	Длина, км	Средняя ширина, км	Длина береговой линии, км	Энергия волнения, тыс. тм	Протяженность абразионных берегов, км	Средняя величина отступления берега, м	
						за 10 лет	за 100 лет
I	117	5,7	1043	289	287	59	110
II	28	10,9	161	492	73	67	122
III	31	2,6	208	226	39	31	93
IV	163	5,5	933	307	355	70	134
V	36	1,3	85	47	12	19	77
Итого	375	–	2430	–	766	–	–

Не вдаваясь подробно в вопросы теории волн и их динамического воздействия на объекты, достаточно полно рассмотренные в работе [4], отметим, что более 90 % волновой энергии сосредоточено в верхних слоях.

Стационарные волноломы и берегоукрепительные сооружения полностью воспринимают

энергию волны и защищают берег от размыва, но сами в процессе работы разрушаются и требуют ремонта, а также являются дорогостоящими в строительстве и обслуживании. К тому же, учитывая величину колебания уровней воды на водохранилищах (см. табл. 1), значительно увеличивается зона берегозащиты.

При этом для достижения эффекта защиты берега достаточно снизить энергию волн до неразмывающих значений для данного вида грунта (значения норм размыва для различных отложений приведены в работе [3]), чего можно достичь применением различных плавучих волногасителей (диссипаторов): жестких, эластичных, пористых и др. Также необходимо учитывать положительную роль растительности на берегах (включая ползучие растения) и постепенное гашение волны на естественных мелководьях.

Набегающие на плавучие сооружения волны частично отражаются, поглощаются и частично проходят под преградой и обтекают ее. Величину гашения волны можно оценить коэффициентом $\beta = h_{ост}/h$, значение которого находится в диапазоне от 0 до 1 (при $\beta = 0$ наблюдается полное гашение волны, а при $\beta \approx 1$ – гашение волны не происходит) (рис. 2) [5].

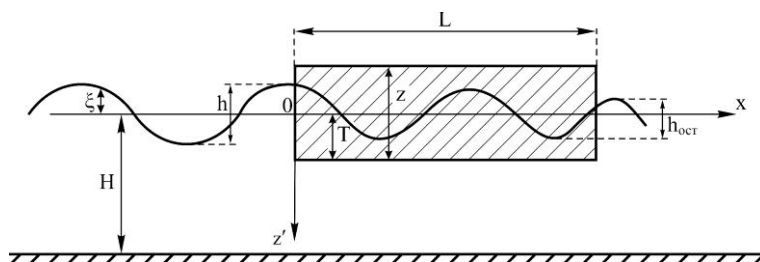


Рис. 2. Расчетная схема: H – глубина воды; z и T – высота и осадка плавучего объекта (волногасителя); h и $h_{ост}$ – высота волны до и после волногасителя; ξ – ордината точек профиля волны; L – длина волногасителя

Несомненно, чем больше коэффициент гашения, тем большую энергию (нагрузку) воспринимает плавучий волногаситель, и ее необходимо знать для проведения прочностного расчета конструкций волногасителей и якорных устройств.

При проектировании в строительстве силы воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения могут быть определены по методике, изложенной в СНиП 2.06.04-82* [6], но для случая плавучих волногасителей расчетные величины значительно превышают экспериментальные [5], что вероятнее всего связано со значительными коэффициентами запаса, жестким (неподвижным) закреплением объектов, а также исключением противодействия от волны за объектом.

В соответствии с математическими зависимостями, полученными в работе [5], величина силового воздействия, воспринимаемая волногасителем, определится как разность сил волнового давления на носовую F_1 и кормовую F_2 поверхности ($\Delta F = F_1 - F_2$), которые для случая $h \leq z$ могут быть определены по формулам

$$F_1 = \rho g B \xi \left(T + \frac{\xi}{2} - \frac{\text{sh}[-k(H - T - \xi)] - \text{sh}[-k(H - T)]}{k \cdot \text{ch}(kH)} \right);$$

$$F_2 = \rho g B \xi_1 \left(T + \frac{\xi_1}{2} - \frac{\text{sh}[-k(H - T - \xi_1)] - \text{sh}[-k(H - T)]}{k \cdot \text{ch}(kH)} \right),$$

где ρ – плотность воды;
 g – ускорение свободного падения;
 B – ширина волногасителя;

ξ – высота волны у передней грани волногасителя ($\xi = h/2 + \Delta h$, где h – высота подходящей волны,

Δh – высота отраженной от передней грани волны (изменение высоты волны у передней грани тела за счет ее частичного отражения незначительно и для практических расчетов ею можно пренебречь [4]));

ξ_1 – высота волны у задней грани волногасителя ($\xi_1 = 0,5h_{осм}\cos\sigma$ – уравнение профиля волны за телом, $h_{осм}$ – высота волны за телом после ее гашения, $\sigma = 2\pi/\tau$ – угловая скорость, τ – период волны);

T – осадка волногасителя;

H – глубина воды;

k – волновое число ($k = 2\pi/\lambda$, где λ – длина волны).

При $h > z$ носовая часть волногасителя будет полностью погружаться в воду, и поэтому необходимо учитывать дополнительную вертикальную нагрузку.

Результаты исследования работы жестких волногасителей (жестко закрепленных и свободно заякоренных, гладких и с шероховатостями, различных габаритов) [7] показывают на их большую эффективность в гашении волн. Для жестко зафиксированного волногасителя с шероховатостями нужна меньшая длина, по сравнению с заякоренным или без шероховатостей (чтобы погасить волну в два раза ($\beta = 0,5$), необходим: жестко зафиксированный волногаситель с элементами шероховатости длиной $L = 0,87\lambda$ и без шероховатостей – $L = 1,30\lambda$, заякоренный с шероховатостями – $L = 1,54\lambda$ и без шероховатостей – $L = 2,33\lambda$; при увеличении длины волногасителя эффект гашения возрастает; увеличение высоты и расстояния между шероховатостями позволяет снизить длину волногасителя). Однако жесткие волногасители представляют собой громоздкие массивы, применение которых будет сопряжено с определенными трудностями.

В связи с этим, на кафедре использования водных ресурсов СибГТУ были разработаны оптимальные для условий водохранилищ конструкции волногасителей [8–10], создаваемые из плавающей на их акватории древесины с помощью устройства [11]. Значения силы давления волны на волногаситель определялись в зависимости от коэффициента гашения волны при различных параметрах воздействующих на него волн. В качестве исходных данных, характеризующих волногаситель (осадка T и ширина B), были взяты параметры используемых в Ангара-Енисейском бассейне лесосплавных пучков. Значения высоты и длины волны, а также глубин приняты для условий Богучанского водохранилища в соответствии с источником [3]. Коэффициент гашения, обеспечиваемый заякоренными волногасителями цилиндрического типа, достигает $\beta = 0,6$, а волногасителей ящичного типа – $\beta = 0,5$, что свидетельствует о их большей эффективности [5].

Жесткое закрепление волногасителя позволяет увеличить эффективность диссипации энергии волн до 50 % [7], но такое крепление в условиях водохранилищ из-за высокой амплитуды колебания уровней воды требует постоянного отслеживания и регулировки высоты установки.

Выводы. Применение на водохранилищах плавучих волногасителей для защиты берега от размыва, учитывая масштабы, транспортную доступность, наличие трудовых ресурсов и строительных материалов, наиболее выгодно (менее трудоемко, технологически просто и экономически целесообразно). На водохранилищах ГЭС Сибири могут быть использованы разработанные на кафедре использования водных ресурсов СибГТУ плавучие волногасители [8–10], что позволит не только снизить величину размыва берегов, но и очистить акваторию от плавающей древесной массы.

После заполнения водохранилища необходимо проводить исследования и устанавливать достоверность (оправдываемость) составленных прогнозов, так как от этого, в конечном итоге, будет зависеть эффективность и степень исполнения защитных мероприятий, запроектированных на прогнозных данных.

Литература

1. Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А. Водоохранилища ГЭС Сибири. Проблемы проектирования, создания и эксплуатации. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2015. – 209 с.
2. СанПиН 3907-85. Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ. – М., 1985.

3. Богучанское водохранилище. Подземные воды и инженерная геология / Ю.Б. Тржцинский, А.А. Горюнов, Б.М. Шенькман [и др.]; отв. ред. М.М. Одинцов. – Новосибирск: Наука, 1979. – 158 с.
4. Корпачев В.П. Теоретические основы водного транспорта леса. – М.: Академия естествознания, 2009. – 237 с.
5. Динамическое воздействие ветровых волн на плавучие волногасители из некондиционной древесины / В.П. Корпачев, А.И. Пережилин, А.А. Андрияс [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6–4. – С. 840–844.
6. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – Утв. Постановление Госстроя СССР от 15.06.1982 г. № 161; введен с 1.01.1984 г. взамен СНиП II-57-75. – М., 1984.
7. Результаты экспериментальных исследований диссипации энергии волн на водохранилищах жесткими волногасителями / В.П. Корпачев, Г.А. Гайдуков, А.И. Пережилин [и др.] // Вестн. Моск. гос. ун-та леса. Лесной вестник. – 2013. – № 1 (93). – С. 73–76.
8. Сооружение для диссипации волновой энергии и защиты береговой полосы от размыва: пат. 116156 Рос. Федерация / Корпачев В.П., Губин И.В., Андрияс А.А., Пережилин А.И., Тихненко М.А., Гайдуков Г.А.; № 2011152574/13; заявл. 22.12.2011; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14. – 1 с.
9. Сооружение для диссипации волновой энергии и защиты береговой полосы от размыва: пат. 116157 Рос. Федерация / Корпачев В.П., Губин И.В., Андрияс А.А., Пережилин А.И., Тихненко М.А., Гайдуков Г.А.; № 2011152575/13; заявл. 22.12.2011; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14. – 2 с.
10. Сооружение для диссипации волновой энергии и защиты береговой полосы от размыва: пат. 125585 Рос. Федерация / Гайдуков Г.А., Корпачев В.П., Андрияс А.А., Пережилин А.И., Гайдукова А.Ф., Малинин Л.И., Злобин А.А., Казанцев Р.А., Маличков А.В. – № 2012144187/13; заявл. 16.10.2012; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7. – 2 с.
11. Устройство для формирования плавучего волногасителя на акватории водохранилища: пат. 2503772 Рос. Федерация / Гайдуков Г.А., Слепцов И.С., Пережилин А.И., Гайдукова А.Ф., Корпачев В.П., Чеботарев М.С., Андрияс А.А., Злобин А.А. – № 2012129929/13; заявл. 13.07.2012; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. – 7 с.

Literatura

1. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. Vodohranilishcha GEHS Sibiri. Problemy proektirovaniya, sozdaniya i ekspluatatsii. – Krasnoyarsk: Izd-vo SibGTU, 2015. – 209 s.
2. SanPiN 3907-85. Sanitarnye pravila proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii vodohranilishch. – М., 1985.
3. Boguchanskoe vodohranilishche. Podzemnye vody i inzhenernaya geologiya / YU.B. Trzhcinskij, A.A. Goryunov, B.M. SHen'kman [i dr.]; отв. ред. М.М. Odincov. – Novosibirsk: Nauka, 1979. – 158 s.
4. Korpachev V.P. Teoreticheskie osnovy vodnogo transporta lesa. – М.: Akademiya estestvoznaniya, 2009. – 237 s.
5. Dinamicheskoe vozeistvie vetrovyh voln na plavuchie volnogasiteli iz nekondicionnoi drevesiny / V.P. Korpachev, A.I. Perezhilin, A.A. Andriyas [i dr.] // Fundamental'nye issledovaniya. – 2013. – № 6–4. – S. 840–844.
6. SNiP 2.06.04-82*. Nagruzki i vozeystviya na gidrotekhnicheskie sooruzheniya (volnovye, ledovye i ot sudov). – Utv. Postanovlenie Gosstroya SSSR ot 15.06.1982 g. № 161; vveden s 01.01.1984 g. vzamen SNiP II-57-75. – М., 1984.
7. Rezul'taty ehksperimental'nyh issledovaniy dissipatsii ehnergii voln na vodohranilishchah zhestkimi volnogasitelyami / V.P. Korpachev, G.A. Gajdukov, A.I. Perezhilin [i dr.] // Vestn. Mosk. gos. un-ta lesa. Lesnoi vestnik. – 2013. – № 1 (93). – S. 73–76.
8. Sooruzhenie dlya dissipatsii volnovoj ehnergii i zashchity beregovoi polosy ot razmyva: pat. 116156 Ros. Federatsiya / Korpachev V.P., Gubin I.V., Andriyas A.A., Perezhilin A.I., Tinenko M.A., Gaidukov G.A.; № 2011152574/13; zayavl. 22.12.2011; opubl. 20.05.2012, Byul. № 14. – 1 s.

9. Sooruzhenie dlya dissipatsii volnovoј ehnergii i zashchity beregovoј polosy ot razmyva: pat. 116157 Ros. Federaciya / Korpachev V.P., Gubin I.V., Andriyas A.A., Perezhilin A.I., Tihnenko M.A., Gaidukov G.A.; № 2011152575/13; zayavl. 22.12.2011; opubl. 20.05.2012, Byul. № 14. – 2 s.
10. Sooruzhenie dlya dissipatsii volnovoј ehnergii i zashchity beregovoј polosy ot razmyva: pat. 125585 Ros. Federaciya / Gaidukov G.A., Korpachev V.P., Andriyas A.A., Perezhilin A.I., Gaidukova A.F., Malinin L.I., Zlobin A.A., Kazantsev R.A., Malichkov A.V. – № 2012144187/13; za-yavl. 16.10.2012; opubl. 10.03.2013, Byul. № 7. – 2 s.
11. Ustroistvo dlya formirovaniya plavuchego volnogasitelya na akvatorii vodohranilishcha: pat. 2503772 Ros. Federaciya / Gaidukov G.A., Slepcev I.S., Perezhilin A.I., Gaidukova A.F., Korpachev V.P., Shebotarev M.S., Andriyas A.A., Zlobin A.A. – № 2012129929/13; zayavl. 13.07.2012; opubl. 10.01.2014, Byul. № 1. – 7 s.



УДК 631.371:621.3(571)

**В.И. Мурко, В.Н. Деягин,
М.П. Баранова, С.Н. Шахматов**

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ СИБИРИ

Целью данной работы являлась демонстрация возможности использования в качестве источника получения энергии местных доступных и недорогих ресурсов. Одна из разработанных и применяемых технологий – это получение суспензионных водоугольных топлив (ВУТ). Данная технология позволяет создавать эффективные и надежные системы производства качественной тепловой энергии в непосредственной близости от локальных потребителей с учетом их конкретных запросов. Инвестиционная привлекательность обусловлена компактностью и высокой экологичностью. Использование ВУТ позволяет решить ряд вопросов, связанных с транспортировкой угля в ряде случаев более экономичным видом транспорта – трубопроводным. При этом исключаются потери, связанные с ухудшением качества топлива: процессами окисления, выветривания, пыления, смерзания и т. п., и это тоже важный элемент энерго- и ресурсосбережения при транспортировке энергоносителей, при создании или модернизации энергетических систем и комплексов. Свойства ВУТ зависят от природы угля, которая меняется в зависимости от степени метаморфизма. Другим направлением использования местного сырья является эффективное применение углей низкой степени метаморфизма – бурых углей. Проведенные исследования показали, что технология получения и использования суспензионных водоугольных топлив вполне может быть успешно применена в сельском хозяйстве Сибири, поскольку угольные месторождения и предприятия по углепереработке распределены равномерно по всей территории Сибири. Результаты опытно-промышленных испытаний разработанных теплогенераторов показали, что даже при низких значениях низшей теплоты сгорания (2500 ккал/кг) ВУТ из различных марок углей Красноярского края возможно получение значения КПД более 80 %, при снижении себестоимости 1 Гкал – минимум от 30 до 300 % по сравнению со сжиганием угля или жидкого нефтяного топлива. В процессе испытаний в подобранных расчетных стационарных режимах было определено, что котел устойчиво работает на нерасчетном топливе, средняя температура слоя – 1000–1100 °С; возможно устойчивое горение в топочной камере на режимах от 100 до 25 % нагрузки и ручном регулировании; унос из топочной камеры мелкий, незначительный, видимые дымовые выбросы из дымовой трубы отсутствуют.

Ключевые слова: диверсификация, технологический комплекс, суспензионное водоугольное топливо, котельная, отходы углеобогащения.