

Прочностные свойства древесины березы, затопленной в водохранилищах Ангаро-Енисейского каскада ГЭС

Е.М. Рунова^a, Н.П. Плотников^b, И.Н. Челышева^c

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^arunova0710@mail.ru, ^bn-plotnikov@mail.ru, ^cirinachelysheva@yandex.ru

^a<https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>, ^b<https://orcid.org/0000-0001-9729-0806>,

^c<https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Статья поступила 28.04.2025, принята 12.05.2025

Вопросы переработки сбора древесины, в огромных количествах затопленной в реках и водохранилищах Ангаро-Енисейского каскада ГЭС при заполнении водохранилищ, а также при сплаве заготовленной древесины, являются актуальными и в настоящее время, хотя с момента затопления прошло более 60 лет. Запасы затопленной древесины пополняются при обрушении береговой зоны водохранилищ при воздействии волновой нагрузки и колебаний уровня воды. Основная цель исследований – сравнительный анализ прочностных и физических показателей топяковой древесины березы с табличными данными и показателями свежесрубленной древесины. В качестве исследуемых образцов использовалась затопленная древесина березы из Братского водохранилища, а также свежесрубленная древесина березы в качестве образцов контроля. Для исследования применялись общепринятые методы испытания древесины. Проведенные исследования эксплуатационных свойств затопленной древесины березы, длительное время находившейся в воде, позволили установить, что по физическим свойствам практически она не отличается от свежесрубленной, а также от табличных данных. Результаты исследований прочностных свойств затопленной древесины березы в сравнении с аналогичными показателями свежесрубленной древесины и стандартными показателями ГСССД указывают на ухудшение прочностных характеристик затопленной древесины. Прочность при сжатии вдоль волокон при влажности 12 % меньше на 6,8 МПа (13,07 %); прочность при статическом изгибе меньше на 26,2 МПа (23,9 %); твердость затопленной древесины березы на поперечном разрезе меньше стандартных данных на 44,27 %, на поверхности радиального разреза – на 38,99 %, на поверхности тангенциального разреза – на 36,45 %. Затопленная древесина березы без дополнительной подготовки может быть превращена в дробленку необходимых размерно-качественных параметров путем измельчения в рубительных машинах и доизмельчения в специальных мельницах или дробилках. Применение затопленной древесины для производства арболита представляется наиболее эффективным способом вовлечения бесхозной древесины в производство продукции.

Ключевые слова: затопленная древесина; береза повислая; береза пушистая; физические свойства; прочностные показатели.

Strength properties of birch wood flooded in the reservoirs of the Angara-Yenisei cascade of hydroelectric power plants

E.M. Runova^a, N.P. Plotnikov^b, I.N. Chelysheva^c

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^arunova0710@mail.ru, ^bn-plotnikov@mail.ru, ^cirinachelysheva@yandex.ru

^a<https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>, ^b<https://orcid.org/0000-0001-9729-0806>,

^c<https://orcid.org/0000-0003-1017-5149>

Received, accepted ...

The issues of processing the timber, collected in huge quantities flooded in the rivers and reservoirs of the Angara-Yenisei cascade of hydroelectric power plants when filling the reservoirs, as well as when rafting the harvested timber, are still relevant today, although more than 60 years have passed since the flooding. The reserves of flooded timber are replenished when the coastal zone of the reservoirs collapses under the influence of wave loads and water level fluctuations. The main objective of the research is a comparative analysis of strength and physical indices of flooded birch wood with tabulated data and indices of freshly cut wood. Flooded birch timber from the Bratsk Reservoir is used as the test samples, as well as freshly cut birch timber as control samples. The generally accepted methods of wood testing are used for the study. The conducted studies of the operational properties of wood of submerged birch wood, which was in water for a long time, allow to establish that in terms of physical properties it practically does not differ from freshly cut wood, as well as from the tabular data. The results of the studies of the strength properties of submerged birch wood in comparison with similar indicators of freshly cut wood and State Service of Standard Reference Data on Physical Constants and Properties of Substances and Materials show a deterioration in the strength characteristics of submerged wood. The compressive strength along the fibers with a humidity of 12 % is less by 6.8 MPa (13.07 %); the static bending strength is less by 26.2 MPa (23.9 %); the hardness of submerged birch wood on the cross section is less than the standard data by 44.27 %, on the surface of the radial section by 38.99 %, on the surface of the tangential section by 36.45 %. Submerged birch wood can be converted into crushed wood of the required size and quality parameters without additional preparation by grinding in chipping machines and regrinding in special mills or crushers. The use of flooded wood for arbolite production appears to be the most effective way to involve derelict wood in production.

Keywords: flooded timber; silver birch; downy birch; physical properties; strength indicators.

Введение. Для Восточной Сибири актуальным является вопрос о переработке бесхозной древесины, затопленной в акваториях водохранилищ Ангарского каскада ГЭС. В настоящее время вот уже десятки лет она находится в воде или на береговой линии. Затопленную древесину можно условно разделить на оставшиеся на корню деревья, хлысты, которые были спилены, но не вывезены из зоны затопления, а также сорimente, которые попали в реки и водохранилища при сплаве. Древесина препятствует нормальному судоходству и резко ухудшает экологическую ситуацию в реках и водохранилищах. Затопленная древесина представлена основными лесообразующими породами Восточной Сибири: сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*), сосной сибирской (*P. sibirica*), лиственницей сибирской (*Larix sibirica*), елью сибирской (*Picea obovata*), пихтой сибирской (*Abies sibirica*), осинной обыкновенной (*Populus tremula*), березой повислой (*Betula pendula*), березой пушистой (*B. pubescens*) [1–8].

Как установлено многими авторами [1–8], количество затопленной древесины в Ангаро-Енисейском каскаде водохранилищ может составлять до 24,69 млн м³, в том числе, в Братском водохранилище объем древесины оценивается от 5,0 до 12,0 млн м³. Наибольший интерес представляет для ученых возможность использования топляковой древесины с целью снижения возможных объемов заготовки растущего леса и улучшения экологической обстановки на водоемах. Вопросы извлечения и переработки затопленной древесины в разное время изучали В.П. Корпачев, В.А. Иванов, Б.И. Угрюмов, Е.М. Рунова, А.Ю. Жук и др. [9–13]. При этом наибольший интерес представляли для исследователей хвойные породы, особенно лиственница, которая после пребывания в воде более 35–40 лет приобретала красивый цвет и особые свойства мореной древесины. В меньшей степени изучены лиственные породы. Некоторые авторы отмечают, что исследования механических свойств древесины березы и осины [10, 12] показали, что после пребывания в речной воде в течение 10–30 лет прочность этих пород практически не изменилась по сравнению со свойствами растущей древесины этих же пород. Самыми распространенными видами березы в Иркутской области являются береза повислая и береза пушистая. По внешним признакам древесина этих видов березы не отличается друг от друга, поэтому в исследовании древесина березы подразумевает указанные два вида.

Цель исследований – сравнительный анализ прочностных и физических показателей топляковой древесины березы с табличными данными и показателями свежесрубленной древесины.

Методика исследований. В качестве исследуемых образцов использовалась затопленная древесина березы из Братского водохранилища, а также свежесрубленная древесина березы в качестве образцов контроля. Исследования проводились по общепринятым методикам для определения физических и механических показателей образцов древесины [13–23]. Образцы затопленной древесины были подняты со дна Братского водохранилища, прошли предварительное обсушивание под навесом при хорошем проветривании. Затем из стволов выпиливались образцы стандартной формы и размера, необходимых для проведения исследований. Из физических свойств древесины березы определялись следующие показатели: средняя ширина годичных слоев, количество годичных слоев в 1 см древесины, плотность древесины в абсолютно сухом состоянии и базисная плотность, коэффициенты усушки и разбухания в радиальном и тангенциальном направлениях, а также коэффициенты объемного разбухания и усушки. Механические свойства древесины определялись с использованием следующих характеристик: предел прочности на сжатие вдоль волокон, предел прочности на статический изгиб, твердость древесины на поверхности торцевого разреза, радиального и тангенциального разрезов. Полученные результаты пересчитывались на стандартную влажность 12 %. Достоверность полученных результатов обеспечивалась точным соответствием методики исследований ГОСТам и необходимым количеством испытаний. Проверка результатов достоверности проводилась с использованием основных статистических характеристик исследований.

Результаты исследований и их обсуждение. Первоначально заготовленные образцы подвергались визуальному осмотру. Древесина березы, извлеченная из водохранилища, несколько изменила свой внешний вид. Окраска древесины неравномерная, виден серый цвет в виде полос. Годичные слои слабо выражены, узкие, что характерно для древесины березы. Среднее количество годичных слоев в образцах древесины 8,3; средняя ширина годичного слоя 1,2 мм. На рис. 1 представлена фотография внешнего вида древесины затопленной березы (фото авторов).

В табл. 1 представлены результаты испытаний физических свойств образцов древесины березы.



Рис. 1. Внешний вид образцов древесины затопленной березы, подготовленной для испытаний

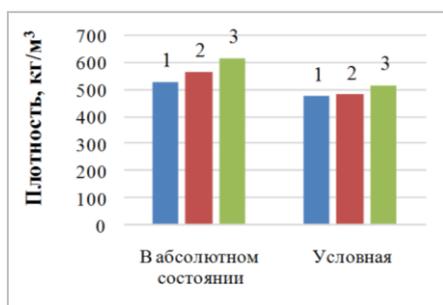
Таблица 1. Сравнительный анализ физических показателей топликовой и свежесрубленной древесины березы с табличными данными (ГСССД)

Показатель	Количество образцов, шт.	Среднее значение показателя		Табличные значения показателей ГСССД	Отклонение, абсолютное/относительное, %	
		затопленной древесины	свежесрубленной древесины		от показателей свежесрубленной древесины	от табличных значений древесины
Количество годовых слоев в 1 см	29	8,3	7,1	6,2	$\frac{+1,2}{+16,9}$	$\frac{+2,1}{+33,87}$
Средняя ширина годовичного слоя, мм	29	1,20	1,41	1,61	$\frac{+0,21}{+14,89}$	$\frac{+0,41}{+26,7}$
Плотность в абсолютно сухом состоянии, кг/м ³	29	532,6	568,7	620	$\frac{-36,1}{-6,34}$	$\frac{-87,4}{-14,09}$
Базисная (условная) плотность, кг/м ³	29	479,2	483,9	520	$\frac{-4,7}{-0,97}$	$\frac{-40,8}{7,84}$
Коэффициент усушки по радиальному направлению	24	0,23	0,25	0,27	$\frac{-0,02}{-8,00}$	$\frac{-0,04}{-14,81}$
Коэффициент усушки по тангенциальному направлению	24	0,18	0,21	0,31	$\frac{-0,03}{-14,28}$	$\frac{-0,13}{-41,93}$
Коэффициент усушки по объему	24	0,40	0,45	0,54	$\frac{-0,05}{-11,11}$	$\frac{-0,14}{-25,93}$

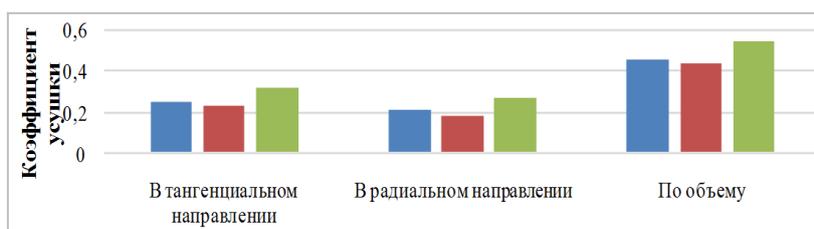
Как показывают результаты исследований физических свойств, древесина затопленной березы имеет достаточно высокую плотность как в абсолютно сухом состоянии, так и базисную (условную) плотность. Базисная плотность затопленной древесины ниже плотности свежесрубленной всего на 0,97 % и ниже табличных данных ГСССД 69–84 Древесина.

Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов [22] всего на 7,87 % выше, чем плотность затопленной древесины.

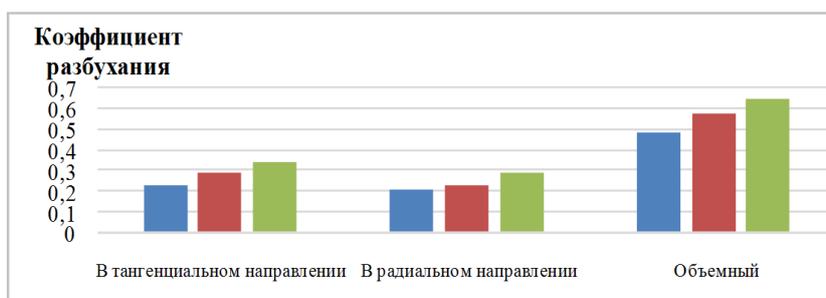
В связи с этим можно сделать заключение о том, что длительное пребывание в воде древесины березы практически не влияет на ее плотность. На рис. 2 представлено графическое сравнение физических свойств затопленной древесины березы.



а)



б)



в)

Рис. 2. Сравнение физических свойств древесины затопленной березы со свежесрубленной древесиной и табличными значениями: плотности (а), коэффициентов усушки (б), коэффициентов разбухания (в): 1 – затопленная древесина, 2 – свежесрубленная, 3 – ГСССД

Гистограммы распределения значений полученных результатов с наложенной на ней кривой нормального распределения представлены на рис. 3. Для определения точности полученных результатов произведено сравнение распределения значений полученных результатов с кривой нормального распределения по критерию Колмогорова-Смирнова. Если критерий D статистики составляет $p < 0,05$, то гипотеза о том, что соответствующее распределение нормально, должна быть отвергнута. Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова результатов измерения плотности в абсолютно сухом состоянии составляет $d = 0,14855$, $p > 0,2$. В данном случае гипотеза о нормальности распределения плотности затопленной древесины березы в абсолютно сухом состоянии принимается. Критерий нормального распределения по коэффициенту разбухания в радиальном направлении составляет $d = 0,14123$, $p > 0,2$. В данном случае гипотеза о нормальности распределения коэффициента разбухания в радиальном направлении затопленной древесины березы принимается. Критерий нормального распределения составляет коэффициента разбухания в радиальном направлении $d = 0,14123$, $p > 0,2$, гипотеза о нормальности распределения коэффициента разбухания

в радиальном направлении затопленной древесины березы принимается.

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова коэффициента объемного разбухания затопленной древесины березы составляет $d = 0,1181$, $p > 0,2$, гипотеза о нормальности распределения коэффициента объемного разбухания затопленной древесины березы принимается. В табл. 2 приведены описательные статистики проведенных результатов исследования физических свойств затопленной древесины березы. Определены следующие статистические показатели: среднее арифметическое значение (\bar{X}_{CP}), среднее квадратическое отклонение (S), коэффициент вариации (v), а также коэффициенты асимметрии и эксцесса.

Коэффициент вариации полученных результатов не превышает 20,66 %, поэтому выборку полученных результатов можно считать однородной.

Результаты проведенных исследований механических свойств образцов затопленной или топяковой древесины березы отражены в табл. 3. Были определены следующие характеристики прочностных свойств топяковой древесины в сравнении со свежесрубленной древесиной и табличными данными.

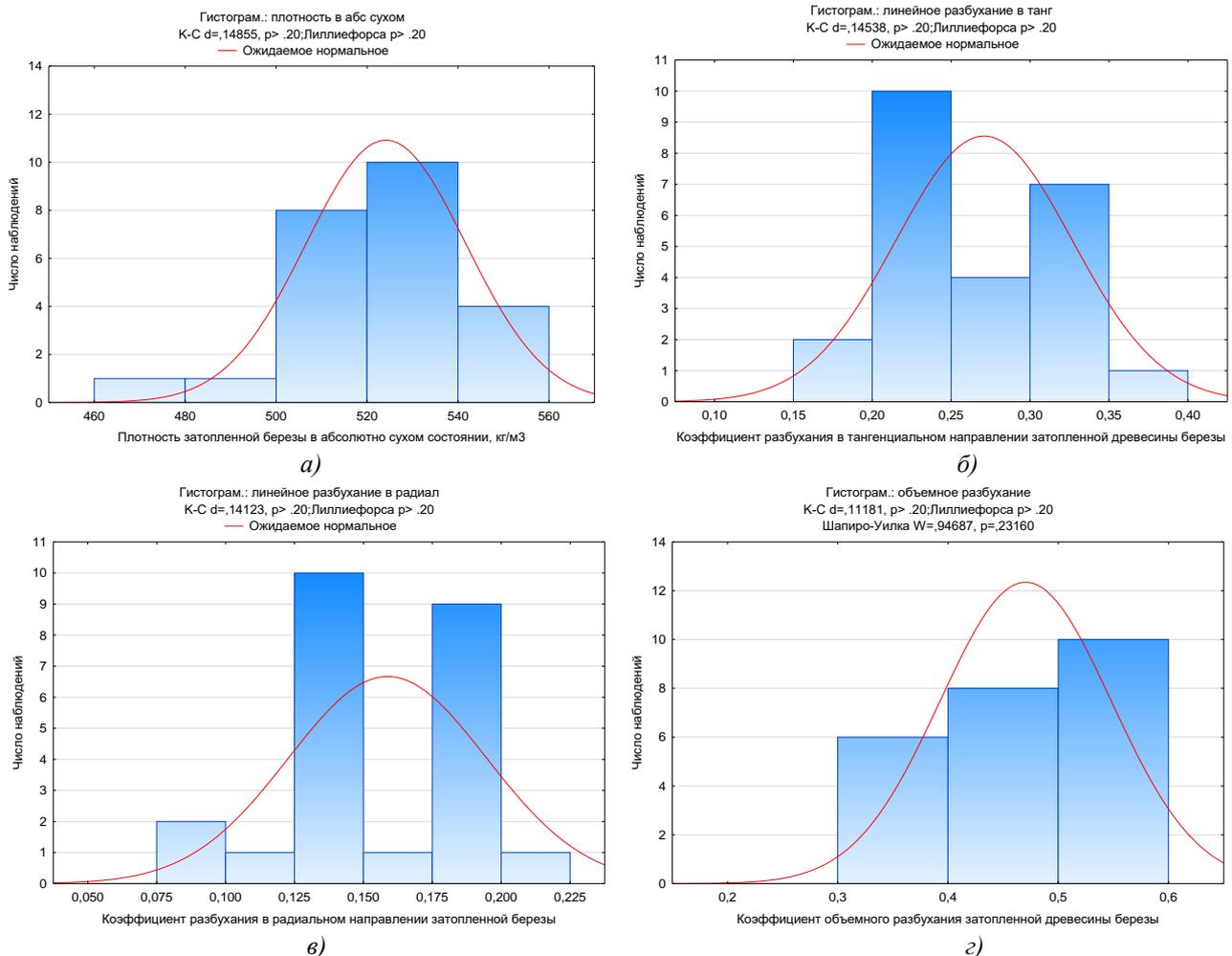


Рис. 3. Гистограммы распределения значений полученных результатов с наложенной на ней кривой нормального распределения: плотности затопленной древесины березы в абсолютно сухом состоянии (а); коэффициента разбухания в тангенциальном направлении затопленной древесины березы (б); коэффициента разбухания в радиальном направлении затопленной древесины березы (в); коэффициента объемного разбухания затопленной древесины березы (г)

Таблица 2. Описательные статистики определения физических свойств затопленной древесины березы

Показатель	N набл.	Среднее арифметическое ($\bar{X}_{ср}$)	S ²	S	v, %	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
Плотность затопленной березы в абсолютно сухом состоянии	24	524,1500	307,6104	17,53883	3,346146	-0,602997	1,386034
Коэффициент разбухания в радиальном направлении затопленной березы	24	0,158750	0,090000	0,220000	0,001290	0,035912	22,62175
Коэффициент разбухания в тангенциальном направлении затопленной березы	24	0,270875	0,003134	0,055982	20,66724	0,473664	-0,818959
Коэффициент объемного разбухания затопленной березы	24	0,470417	0,006013	0,077543	16,48382	-0,300083	-1,01781

Таблица 3. Сравнительный анализ физических показателей топяковой и свежесрубленной древесины березы с табличными данными (ГСССД)

Наименование показателя	Количество опытов, n	Средние показатели древесины		Табличные значения показателей ГСССД	Разность, абсолютная/относительная, %	
		затопленной	свежесрубленной		с показателями свежесрубленной древесины	с данными ГСССД
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, при W = 12 %, МПа	30	45,2	43,6	52,0	$\frac{1,6}{3,67}$	$\frac{-6,8}{-13,07}$
Предел прочности при статическом изгибе, при W = 12 %, МПа	27	83,4	105,6	109,6	$\frac{-22,2}{-21,02}$	$\frac{-26,2}{-23,9}$
Твердость древесины на поверхности поперечного разреза, Н/мм ²	31	25,8	21,9	46,3	$\frac{3,9}{17,81}$	$\frac{-20,5}{-44,27}$
Твердость древесины на поверхности радиального разреза, Н/мм ²	31	21,9	20,2	35,9	$\frac{1,7}{8,13}$	$\frac{-14,0}{-38,99}$
Твердость древесины на поверхности тангенциального разреза, Н/мм ²	31	20,4	15,8	32,1	$\frac{4,6}{29,1}$	$\frac{-11,7}{-36,45}$

Полученные результаты можно оценить следующим образом. Основные прочностные показатели затопленной древесины березы близки к показателям прочности свежесрубленной и даже несколько превышают их на 3,67–29,1 %. Исключением является предел прочности при статическом изгибе, который ниже по сравнению

со свежесрубленной древесиной на 21,02 %. При этом, как видно из рис. 4, образцы затопленной древесины березы после испытания на статический изгиб имеют хорошо выраженный зацепистый излом, который свидетельствует о высококачественной вязкой древесине.

**Рис. 4.** Образцы затопленной березы после испытаний на статический изгиб

Результаты исследования некоторых прочностных характеристик затопленной древесины березы позволяют сделать вывод, что по сравнению со справочными данными [24] прочность при сжатии вдоль волокон при влажности 12 % меньше на 6,8 МПа (13,07 %); прочность при статическом изгибе меньше на 26,2 МПа (23,9 %);

твердость затопленной древесины березы на поперечном разрезе меньше стандартных данных на 44,27 %, на поверхности радиального разреза – на 38,99 %, на поверхности тангенциального разреза – на 36,45 %.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что основные прочностные показатели затоп-

ленной древесины березы существенно ниже прочностных показателей для березы по сравнению с нормируемыми справочными материалами (Государственная служба стандартных справочных данных — ГССД) [24].

Достоверность полученных результатов подтверждена статистическими показателями обработки полученных исследований, представленными на рис. 5.

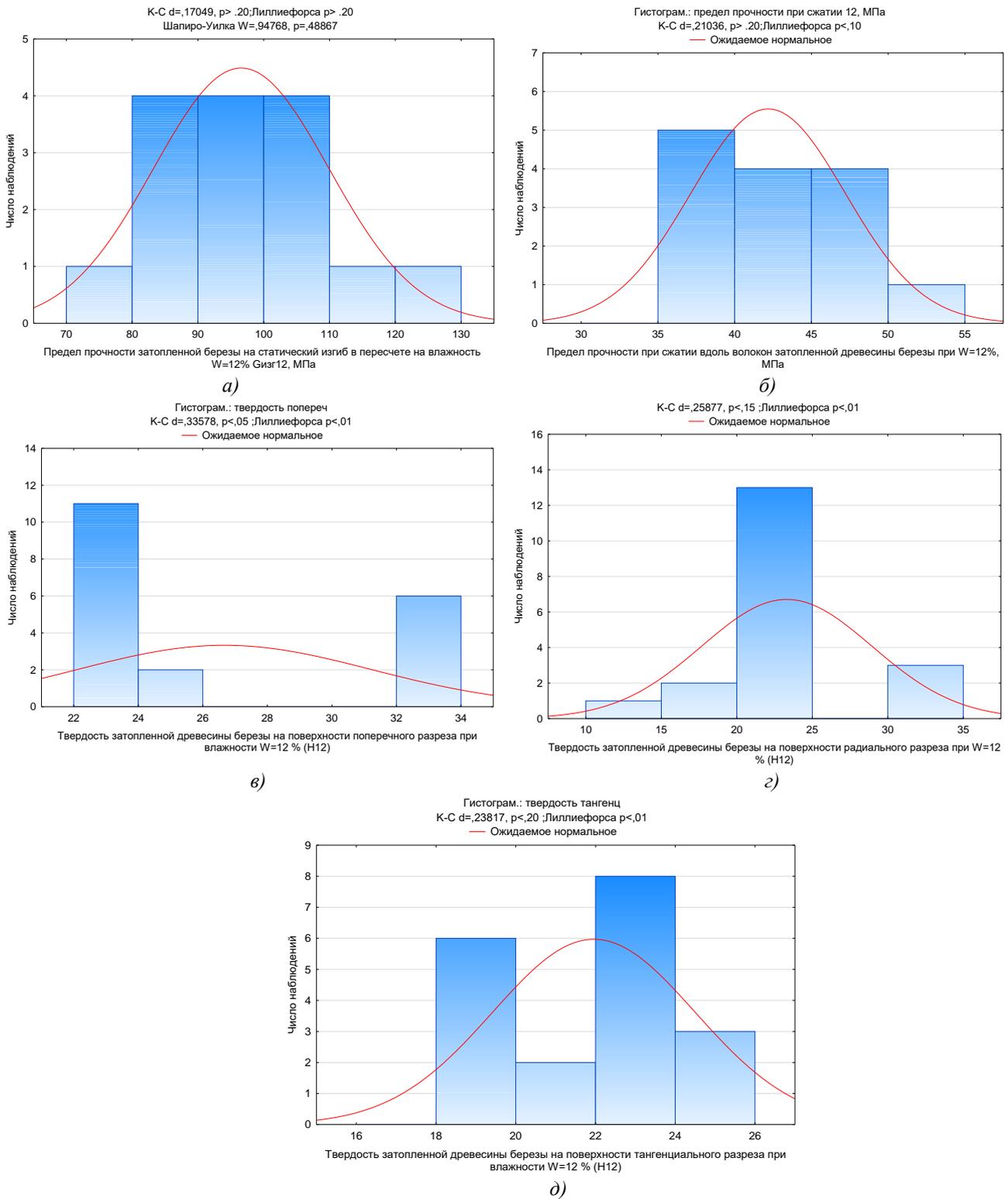


Рис. 5. Гистограммы распределения значений полученных результатов с наложенной на ней кривой нормального распределения: предела прочности на сжатие вдоль волокон затопленной древесины березы при W = 12 % (а); предела прочности на сжатие вдоль волокон затопленной древесины березы при W = 12 % (б); твердости затопленной древесины березы на поверхности поперечного разреза при влажности W = 12 % (Н12) (в); твердости затопленной древесины березы на поверхности радиального разреза при влажности W = 12 % (Н12) (г); твердости затопленной древесины березы на поверхности тангенциального разреза при влажности W = 12 % (Н12) (д)

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова предела прочности на сжатие вдоль волокон затопленной древесины березы составляет $d = 0,21036$, $p > 0,2$, в этом случае гипотеза о нормальности распределения предела прочности на сжатие вдоль волокон затопленной древесины березы при $W = 12\%$ принимается. Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова предела прочности при статическом изгибе затопленной древесины березы при $W = 12\%$ составляет $d = 0,17049$, $p > 0,2$. В данном случае гипотеза о нормальности распределения предела прочности при статическом изгибе затопленной древесины березы при $W = 12\%$ принимается. Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова твердости затопленной древесины березы на поверхности поперечного разреза при влажности $W = 12\%$ составляет $d = 0,33578$, $p > 0,2$. В данном случае гипотеза о нормальности распределения твердости затопленной древесины березы на поверхности поперечного разреза

при влажности $W = 12\%$ принимается. Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова твердости затопленной древесины березы на поверхности радиального разреза при влажности $W = 12\%$ составляет $d = 0,33578$, $p > 0,2$. В данном случае гипотеза о нормальности распределения твердости затопленной древесины березы на поверхности радиального разреза при влажности $W = 12\%$ принимается. Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова твердости затопленной древесины березы на поверхности тангенциального разреза при влажности $W = 12\%$ составляет $d = 0,23817$, $p > 0,2$. В данном случае гипотеза о нормальности распределения твердости затопленной древесины березы на поверхности тангенциального разреза при влажности $W = 12\%$ принимается. В табл. 4 представлены основные описательные статистические показатели, полученные при испытаниях механических свойств затопленной древесины березы.

Таблица 4. Описательные статистики определения механических свойств затопленной древесины березы

	N набл.	Среднее арифметическое (\bar{X}_{CP})	S^2	S	v, %	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
Предел прочности на сжатие вдоль волокон затопленной березы при $W = 12\%$	14	42,17571	25,33392	5,033281	11,93407	0,582122	-0,904186
Предел прочности при статическом изгибе затопленной березы при $W = 12\%$	15	96,57733	177,7194	13,33114	13,80359	0,433632	-0,620243
Твердость затопленной березы на поверхности поперечного разреза при $W = 12\%$ (H_{12})	19	26,66842	20,71450	4,551319	17,06632	0,828602	-1,34951
Твердость затопленной березы на поверхности радиального разреза при $W = 12\%$ (H_{12})	19	23,31053	31,94766	5,652226	24,24753	1,132170	0,949044
Твердость затопленной березы на поверхности тангенциального разреза при $W = 12\%$ (H_{12})	19	21,95789	6,449240	2,539535	11,56548	0,026792	-1,03451

На основании данных табл. 4 можно сделать выводы о достоверности проведенных исследований механических свойств затопленной древесины березы.

Заключение. Проведенные исследования эксплуатационных свойств древесины затопленной древесины березы, длительное время находившейся в воде, позволили установить, что по физическим свойствам она практически не отличается от свежесрубленной, а также от табличных данных. Базисная плотность затопленной древесины ниже плотности свежесрубленной древесины всего на 0,97 % и ниже табличных данных ГСССД 69–84 «Древесина. Показатели коэффициента усушки в радиальном и тангенциальном направлениях меньше показателей свежесрубленной древесины на 8,00 и 14,28 % соответственно, а также меньше табличных данных на 14,81 % и 41,93 %. Эти результаты свидетельствуют о минимальной усушке и разбухании затопленной древесины березы, что является положительным свойством. Результаты исследований прочностных свойств затопленной древесины березы в сравнении с аналогичными показателями свежесрубленной древесины и стандартными показателями ГСССД [24] указывают на ухудшение прочностных характеристик затоп-

ленной древесины. Прочность при сжатии вдоль волокон при влажности 12 % меньше на 6,8 МПа (13,07 %); прочность при статическом изгибе меньше на 26,2 МПа (23,9 %); твердость затопленной древесины березы на поперечном разрезе меньше стандартных данных на 44,27 %, на поверхности радиального разреза на 38,99 %, на поверхности тангенциального разреза на 36,45 %. Использование топяковой древесины березы в стандартном лесопилении достаточно проблематично по причине дополнительных затрат для подготовки сырья к распиловке, корректировки режимов пиления, применения нетиповых режимов сушки в связи с большой вероятностью деформаций и растрескивания. Затопленная древесина березы полностью соответствует представленным требованиям и без дополнительной подготовки может быть превращена в дробленку необходимых размерно-качественных параметров путем измельчения в рубительных машинах и доизмельчения в специальных мельницах или дробилках. Применение затопленной древесины для производства арболита представляется наиболее эффективным способом вовлечения бесхозной древесины в производство продукции.

Литература

1. Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Рябokonь Ю.И. Загрязнение и засорение водохранилищ ГЭС древесно-кустарниковой растительностью, органическими веществами и влияние их на качество воды: монография. Пенза: Изд-во «Академия Естествознания», 2010. 127 с.
2. Жук А. Е. Техническое обеспечение сплава древесины, утратившей плавучесть // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 2 (10). С. 135-139.
3. Корпачев В.П. Оценка степени влияния затопленной и плавающей древесной массы в ложе водохранилища ГЭС Сибири на качество вод // Междунар. школа-конф. «Социально-экологические проблемы природопользования в Центральной Сибири»: сб. мат-лов. [Электронный ресурс]. http://conf.sfu-kras.ru/conf/ecoproblem/report?memb_id=708 (дата обращения 22.04.2025)
4. Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Карев Д.В. Технологии и технические средства очистки водохранилищ ГЭС от плавающей древесины // Хвойные борельной зоны. 2018. № 3. [Электронный ресурс]. <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-i-tehnicheskie-sredstva-ochistki-vodohranilisch-ges-ot-plavayuschey-drevesiny> (дата обращения 17.04.2025).
5. Корпачев В.П. Методика прогнозирования поступления древесной массы в водохранилища ГЭС Сибири // Лесное хозяйство. 2004. № 6. С. 21-23.
6. Трофимук В.Н., Седрисев Д.Н. Освоение древесины в полосе размывания берегов водохранилищ Ангаро-Енисейского региона // Современные наукоемкие технологии. 2006. № 7. С. 98-99.
7. Корпачев В.П. Малинин Л.И., Чебых М.М. Методика прогнозирования поступления древесной массы при затоплении и эксплуатации водохранилищ Ангаро-Енисейского региона // Сб. науч. тр. Всесоюз. науч.-проектной конф. «Использование и восстановление ресурсов Ангаро-Енисейского региона. Т. 2. Красноярск-Лесосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та науки и технологий, 1991. С. 107-117.
8. Угрюмов Б.И., Новоселов А.В., Иванов В.А. и др. Проблемы организации технологических процессов освоения «бесхозной» аварийной древесины: Учеб. пособие. Братск: Изд-во Братск. индустриал. ин-та, 1998. 84 с.
9. Ушаков А.С. О некоторых свойствах затопленной древесины // Водные ресурсы региона, их охрана и рациональное использование: сб. статей 10-й экологической конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Красноярск, 24 ноября 2014 г. Красноярск: Изд-во Сиб. гос. технологич. ун-та, 2014. С. 61-65.
10. Губин И.В. Исследование физико-механических свойств топяковой древесины // Мат-лы III Междунар. науч.-практич. конф. «Дни науки-2007». Технические науки. Строительство и архитектура. Т. 11. Днепропетровск: Наука и образование, 2007. С. 15-17.
11. Аксенов П.А., Рунова Е.М., Плотников Н.П. Исследование макро- и микростроения затопленной древесины ели // Хвойные бореальной зоны. 2023. № 41(4). С. 339-345. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-4-339-345
12. Ушаков А.С. О некоторых свойствах затопленной древесины // Водные ресурсы региона, их охрана и рациональное использование: сб. статей 10-й экологической конф. студентов, магистрантов и аспирантов (24 нояб. 2014 г.). Красноярск: Изд-во Сиб. гос. технологич. ун-та, 2014. С. 61-65.
13. Рунова Е.М., Плотников Н.П., Челышева И.Н., Медведева П.С. Физико-механические свойства затопленной древесины ели сибирской и перспективы ее использования // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 101-105.
14. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесная промышленность, 1976. 160 с.
15. Пауль Э.Э. Зависимость механических свойств древесины от ее плотности // Лесное и охотничье хозяйство. 2011. № 10. С. 20-23.
16. ГОСТ 16483.1–84. Древесина. Метод определения плотности. М.: Изд-во стандартов, 1999. 5 с.
17. ГОСТ 16483.35–88. Взамен 16483.35–80. Древесина. Метод определения разбухания. Введ. с 01.01.90 по 01.01.95. М.: Изд-во стандартов, 1999. 5 с.
18. ГОСТ 16483.3–84. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе. М.: Изд-во стандартов, 1999. 6 с.
19. ГОСТ 16483.5–73. Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании вдоль волокон М.: Изд-во стандартов, 1999. 6 с.
20. ГОСТ 16483.17–81. Древесина. Метод определения статической твердости. М.: Изд-во стандартов, 1999. 5 с.
21. ГОСТ 16483.0–89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям. М.: Изд-во стандартов, 1999. 10 с.
22. ГСССД 69-84. Древесина. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов. М.: Изд-во стандартов, 1985. 29 с.
23. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесная промышленность, 1989. 296 с.

References

1. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A., Ryabokon Y.I. Pollution and clogging of HPP reservoirs with woody and shrub vegetation, organic matter and their influence on water quality: monograph. Penza: Publishing House "Academy of Natural Science", 2010. 127 p.
2. Zhuk A. E. Technical support of rafting of wood-sina, which lost buoyancy // Systems. Methods. Technologies. 2011. № 2 (10). P. 135-139.
3. Korpachev V.P. Assessment of the degree of influence of flooded and floating wood mass in the bed of the reservoir-lakes of hydroelectric power plants of Siberia on water quality // Intern. school-conf. "Socio-ecological problems of nature management in Central Siberia": collection of materials. [Electronic resource]. http://conf.sfu-kras.ru/conf/ecoproblem/report?memb_id=708 (date of address 22.04.2025).
4. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A., Karev D.V. Technologies and technical means of cleaning the HPP reservoirs from floating wood // Coniferous boreal zone. 2018. № 3. [Electronic resource]. <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-i-tehnicheskie-sredstva-ochistki-vodohranilisch-ges-ot-plavayuschey-drevesiny> (date of address 17.04.2025).
5. Korpachev V.P. Methodology of forecasting the wood pulp inflow into the reservoirs of Siberian hydroelectric power plants // Forestry. 2004. № 6. P. 21-23.
6. Trofimuk V.N., Sedrisev D.N. Wood development in the bank erosion strip of the Angara-Yenisei reservoirs // Modern knowledge-intensive technologies. 2006. № 7. P. 98-99.
7. Korpachev B.P., Malinin L.I., Chebykh M.M. Methodology of predicting the wood mass inflow at flooding and operation of reservoirs of the Angara-Yenisei region // Collection of scientific works of the All-Union scientific-project conf. "Use and restoration of resources of the Angara-Yenisei region. Vol. 2. Krasnoyarsk-Lesosibirsk: Publishing House of the Siberian State University of Science and Technology, 1991. P. 107-117.
8. Ugryumov B.I., Novoselov A.V., Ivanov V.A. et al. Problems of the organization of technological processes of the devel-

- opment of the “ownerless” emergency wood: Tutorial. Bratsk: Bratsk Industrial Institute Publishing House, 1998. 84 p.
9. Ushakov A.S. About some properties of flooded wood // Water resources of the region, their protection and rational use: collection of articles of the 10th environmental conference of students, undergraduates and graduate students, Krasnoyarsk, November 24, 2014. Krasnoyarsk: Publishing house of the Siberian State Technological University, 2014. P. 61-65.
 10. Gubin I.V. Research of physical and mechanical properties of cottonwood // Proceedings of the III International scientific-practical conference “Days of Science-2007”. Technical sciences. Construction and architecture. Vol. 11. Dnepropetrovsk: Science and Education, 2007. P. 15-17.
 11. Aksenov P.A., Runova E.M., Plotnikov N.P. Investigation of macro- and microstructure of flooded spruce wood // Conifers of the boreal zone. 2023. № 41(4). P. 339-345. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-4-339-345
 12. Ushakov A.S. About some properties of flooded wood // Water resources of the region, their protection and rational use: collection of articles of the 10th environmental conference of students, undergraduates and graduate students (November 24, 2014). Krasnoyarsk: Publishing house of the Siberian State Technological University, 2014. P. 61-65.
 13. Runova E.M., Plotnikov N.P., Chelysheva I.N., Medvedeva P.S. Physical and mechanical properties of flooded wood of Siberian spruce and prospects for its use // Systems. Methods. Technologies. 2023. № 4 (60). P. 101-105.
 14. Poluboyarinov O.I. Density of wood. Moscow: Forest Industry, 1976. 160 p.
 15. Paul E.E. Dependence of mechanical properties of wood on its density // Forestry and hunting economy. 2011. № 10. P.20-23.
 16. State Standard 16483.1-84. Wood. Method for determining density. Moscow: Standards Publishing House, 1999. 5 p.
 17. State standard 16483.35-88. In replacement of 16483.35-80. Wood. Method for determination of swelling. Introduced from 01.01.90 to 01.01.95. M.: Publishing house of standards, 1999. 5 p.
 18. State standard 16483.3-84. Wood. Method for determining the static bending strength. Moscow: Standards Publishing House, 1999. 6 p.
 19. State standard 16483.5-73. Wood. Methods for determining the shear strength along the fibers M.: Standards Publishing House, 1999. 6 p.
 20. State Standard 16483.17-81. Wood. Method for determining static hardness. Moscow: Standards Publishing House, 1999. 5 p.
 21. State standard 16483.0-89. Wood. General requirements for physical and mechanical tests. Moscow: Standards Publishing House, 1999. 10 p.23. Borovikov A.M., Ugolev B.N. Handbook of wood / edited by B.N. Ugolev. Moscow: Lesnaya prom-st, 1989. 296 p.
 22. State Standard Reference Data Service 69-84. Wood. Indicators of physical and mechanical properties of small pure samples. Moscow: Standards Publishing House, 1985. 29 p.
 23. Borovikov A.M., Ugolev B.N. Reference book on wood. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1989. 296 p.