

Гомон Св. Св., к.т.н., доцент, Матвіюк О. В., ст. викладач, Савчук С. М., магістрант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Верешко О. В., ст. викладач** (Луцький національний технічний університет), **Кулаковський Л. Я., к.т.н., ст. викладач** (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)

ВПЛИВ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА МІЦНІСНІ ТА ДЕФОРМІВНІ ПОКАЗНИКИ СУЦІЛЬНОЇ ДЕРЕВИНИ ХВОЙНИХ ПОРІД

Розроблено методику та проведено експериментальні дослідження суцільної деревини хвойних порід на стиск уздовж волокон за короткочасного навантаження з різним показником вологості за жорсткого режиму випробувань. Вперше визначено основні параметри міцності та деформівності за різного показника вологості, як на висхідній, так і на спадній вітках, повної діаграми деформування деревини хвойних порід. Встановлено залежності таких показників, як гранична міцність, початковий модуль пружності та критичні деформації, від різної вологості.

Ключові слова: суцільна деревина; агресивне середовище; міцність; деформівність; вологість; початковий модуль пружності.

Постановка проблеми та аналіз останніх публікацій. Деревина використовується в багатьох галузях промисловості та зазнає різних впливів агресивного середовища, як в захищеному, так і незахищеному стані. Такі матеріали працюють у водному, лужному та кислотному середовищах. Внаслідок агресивної дії фізико-механічні властивості деревини зазнають певних змін, як правило, погіршуються.

Експериментальними та теоретичними дослідженнями роботи суцільної деревини за різної дії навантаження під впливом агресивного середовища, зокрема вологості, займалися такі закордонні та вітчизняні науковці, як Madsen B. [1], Kuffner M. [2], Боровиков А.М. [3], Гринкруг Н.В. [4]. Як правило, ці дослідження стосувалися міцнісних показників деревини. Випробування проводили за м'якого режиму прикладання навантаження.

В нормативних документах бувшого Радянського Союзу фізико-механічні властивості деревини різних порід наведено за стандартної вологості 12% [5]. За іншої вологості вводяться перерахункові коефіцієнти. В американських нормах за вологостей 12 та 30% [6]. В наших нормах враховуються через коефіцієнт умов експлуатації k_{mod} [7]. В [5; 6; 7] наводяться, як правило, міцнісні показники.

Аналізуючи роботи вітчизняних та закордонних вчених та чинних норм з дослідження впливу вологості на властивості суцільної деревини, приходимо до висновку, що такі показники, як гранична міцність, а особливо критичні, граничні та залишкові деформації, початковий модуль пружності та модуль деформацій фактично в них відсутні. Якщо міцнісні показники ще можливо встановити за певними тарувальними графіками та перерахунковими коефіцієнтами, то практично не можливо визначити критичні деформації та модуль деформацій для будь-якої породи деревини за будь-якої вологості.

Тому важливо провести експериментальні дослідження впливу різного показника вологості на міцнісні та деформівні параметри суцільної деревини хвойних порід за жорсткого режиму випробувань.

Мета роботи – визначення основних міцнісних та деформівних параметрів суцільної деревини хвойних порід на стиск уздовж волокон за короткочасного навантаження за жорсткого режиму випробувань за різної вологості.

Методика проведення експериментальних досліджень. Для вирішення поставлених задач було виготовлено серію зразків 1 сорту суцільної деревини конструкційних розмірів різних порід у вигляді призм перерізом 30x30x120 мм. Отже, для випробувань вибрані наступні хвойні породи деревини: модрина, сосна, ялина. Деревина, з яких виготовлені зразки, були вирощені, зокрема, сосна, ялина – в лісах Рівненської області; модрина – Івано-Франківської.

Для виготовлення призм вибирали дерево з рівним стовбуром та з малою кількістю віток згідно [8]. Це дозволило нам зменшити сучкуватість деревини та збільшити паралельність самих волокон. Після зрізу вибраних дерев стовбури транспортувались до столярних цехів та розрізались на бруси. Проводилось маркування отриманих елементів.

Деревина, яка піддавалась випробуванню, мала вологість: 30%, 21%, 12%. Заготовки деревини попередньо висушували в лабораторних умовах до усередненої вологості $30 \pm 1\%$ та у сушильних камерах до вологості відповідно $21 \pm 1\%$ та $12 \pm 1\%$ (табл. 1).

Таблиця 1

Обсяг експериментальних досліджень хвойних порід деревини

№ з/п	Порода деревини	Шифр зразка	Вологість, %	Вік, років	Кількість зразків, шт.
1	Модрина	МС-30(21,12)-60-1,5	30, 21, 12	60	18
2	Сосна	СС-30(21,12)-60-1,5	30, 21, 12	60	18
3	Ялина	ЯЛС-30(21,12)-60-1,5	30, 21, 12	60	18

Загальна кількість випробуваних зразків суцільної деревини всіх досліджуваних порід 54 шт.

Експериментальні дослідження за жорсткого режиму прикладення навантажень проводили на сервогідравлічній випробувальній машині СТМ-100 з автоматизованою системою керування (рис. 1) і запису даних [9]. Можливість прикладення максимального навантаження випробувальної машини складає 100 кН.

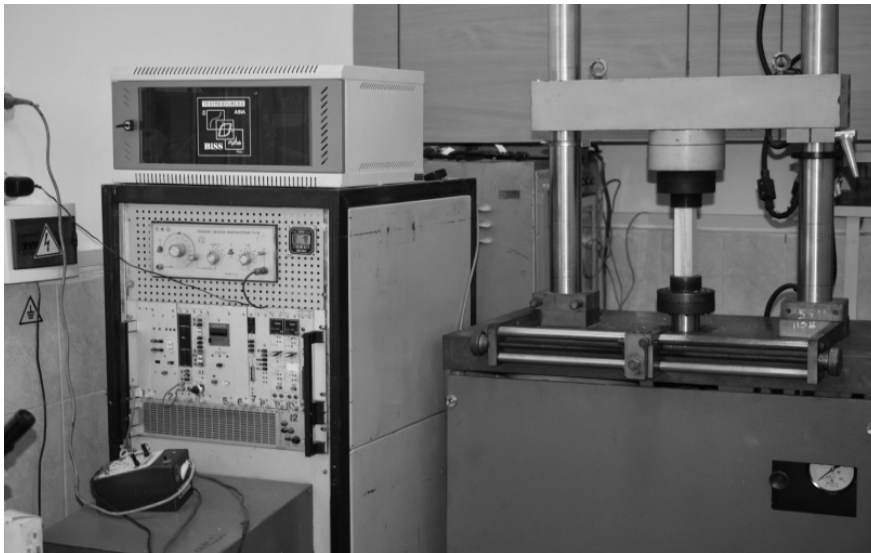
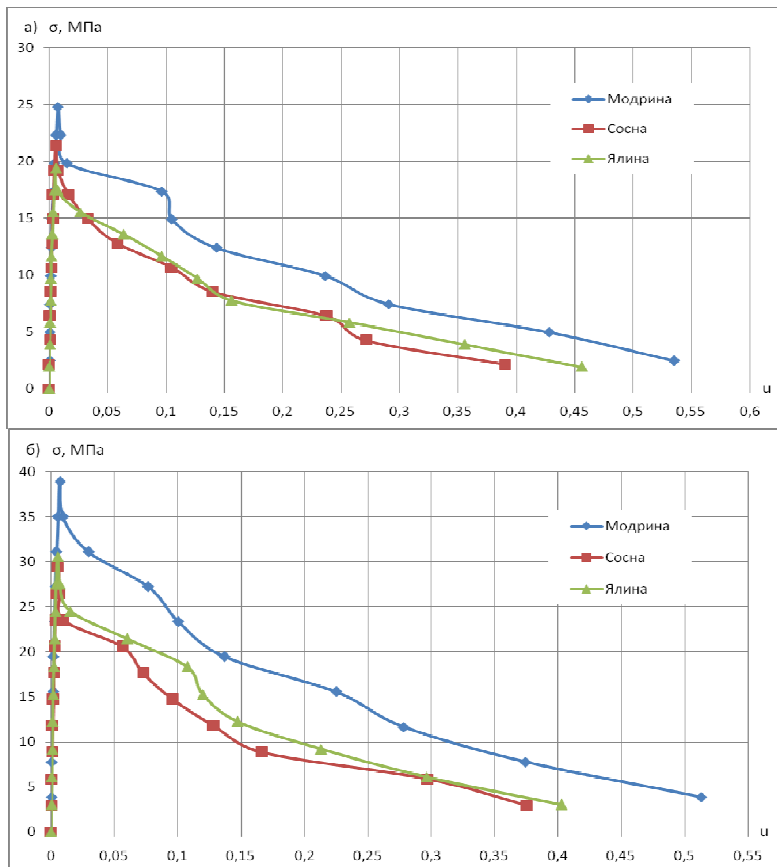


Рис. 1. Сервогідравлічна випробувальна машина СТМ-100

Навантаження зразків проводилося і контролювалося за допомогою ПК та відповідного програмного забезпечення. При випробуванні призм записували швидкість переміщення плити пресу, рівень прикладення навантаження та витрачений на це час.

Аналіз досліджень. На основі проведених експериментальних досліджень побудовані повні діаграми деформування «напруження σ_c – поздовжня деформація u_c » деревини хвойних порід (модрина,

сосни, ялини) порід деревини від початку навантаження і до точки граничних деформацій відповідно за усередненої вологості 30%, 21%, 12% (рис. 2, а, б, в). На даних діаграмах завжди спостерігаємо дві ділянки: висхідну та спадну. Це свідчить про те, що деревина за різної вологості працює не тільки до точки максимального напруження, а і має певну залишкову (закритичну) міцність після проходження цієї точки. З отриманих діаграм, було визначено усереднені критичні деформації за відповідних усереднених максимальних напружень всіх досліджуваних порід деревини.



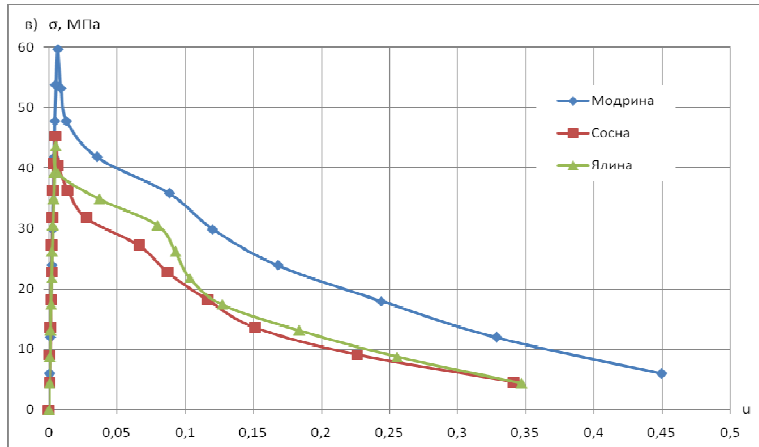


Рис. 2. Повні діаграми деформування суцільної деревини хвойних порід за вологості: а) 30%; б) 21%; в) 12%

Проаналізувавши отримані результати, випробувань приходимо до висновку, що зменшення вологості деревини від 30% до 12% сприяє суттєвому збільшенню її міцності для хвойних порід – у 2,1–2,4 раз. При цьому деформівність хвойних порід зменшується. Зменшення деформівності можна пояснити тим, що деревина з більшою вологістю є більш пластичним матеріалом в порівнянні з деревиною з меншою вологістю.

Модуль деформацій знаходимо за формулою (1)

$$E' = E_o (1 \pm \lambda_{f_{c,0,d}} \eta), \quad (1)$$

де E_o – початковий модуль пружності деревини;

$\lambda_{f_{c,0,d}}$ – коефіцієнт пластичності деревини вздовж волокон;

$\eta = \frac{\sigma}{f_{c,0,d}}$ – рівень напружень.

Початковий модуль пружності та модуль деформацій визначається з рис. 3, а, б, в.

На рис. 4, 5, 6 наведено вплив вологості на зміну відповідно максимального напруження, початкового модуля пружності та критичних деформацій. За цими рисунками ми можемо встановити дані показники в межах 12–30%. При вологості більше 30% такі параметри не змінюються.

Отже, величину критичних відносних деформацій деревини пропонується визначати за сумою відносних пружних та пластичних деформацій за формулою

$$u_{c,0,d} = u_{c,el} + u_{c,pl}, \quad (2)$$

де $u_{c,el}$ – відносна пружна деформація суцільної деревини;
 $u_{c,pl}$ – відносна пластична деформація суцільної деревини.

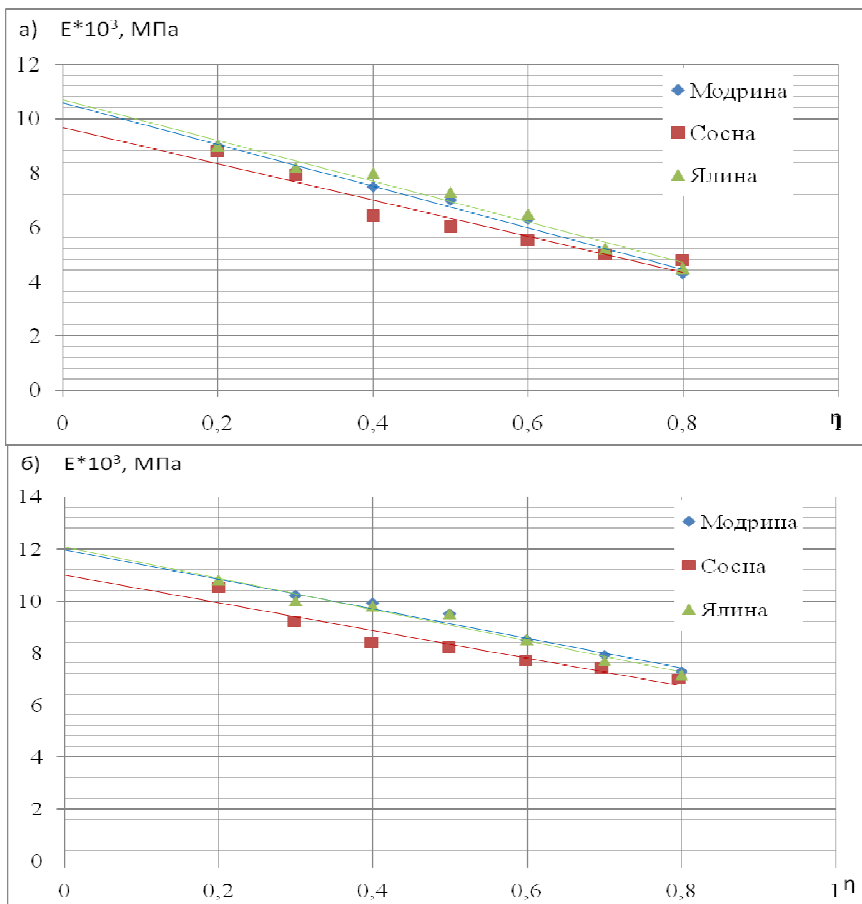
Враховуючи наші експериментальні дослідження формула (2) набуде вигляду

$$u_{c,0,d} = f_{c,0,d} / E_0 + c_1 \cdot f_{c,0,d}^2, \quad (3)$$

де $f_{c,0,d}$ – максимальні напруження (гранична міцність) суцільної деревини;

c_1 – коефіцієнт, що залежить від вологості і віку суцільної деревини.

Коефіцієнт c_1 для будь-якої породи листяної та хвойної породи та віку деревини в межах 50...100 років буде мати наступні значення: за вологості 30% $c_1 = 8,70 \cdot 10^{-6}$ (МПа)⁻²; за 21% – $c_1 = 2,69 \cdot 10^{-6}$ (МПа)⁻²; за 12% – $c_1 = 6,55 \cdot 10^{-7}$ (МПа)⁻².



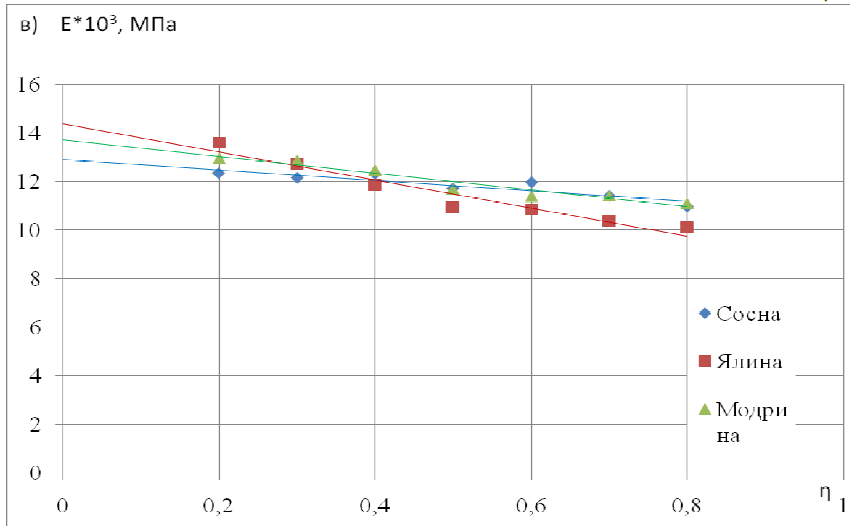


Рис. 3. Діаграми «Е- η » (січний модуль – рівень напружень) суцільної деревини хвойних порід за вологості: а) 30%; б) 21%; в) 12%

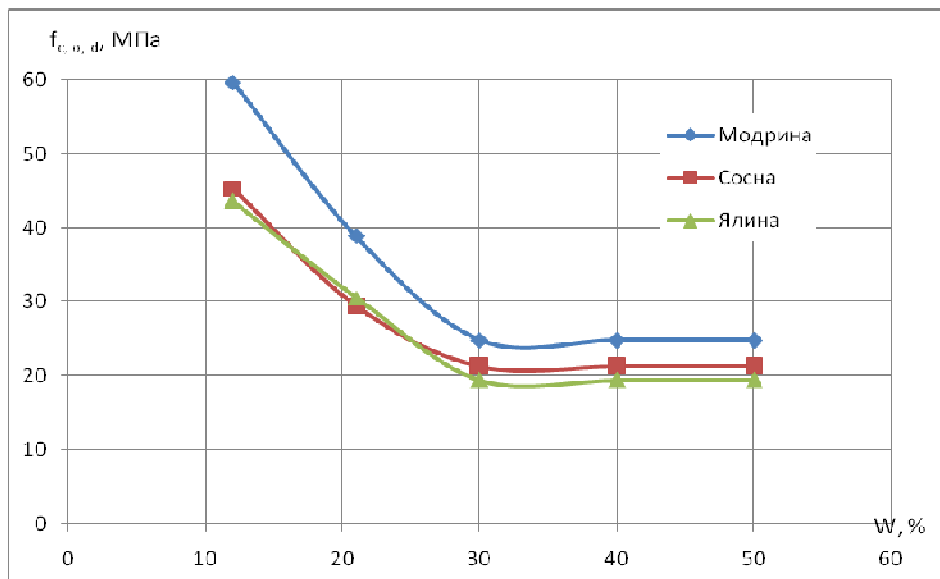


Рис. 4. Залежність максимального напруження суцільної деревини хвойних порід від вологості

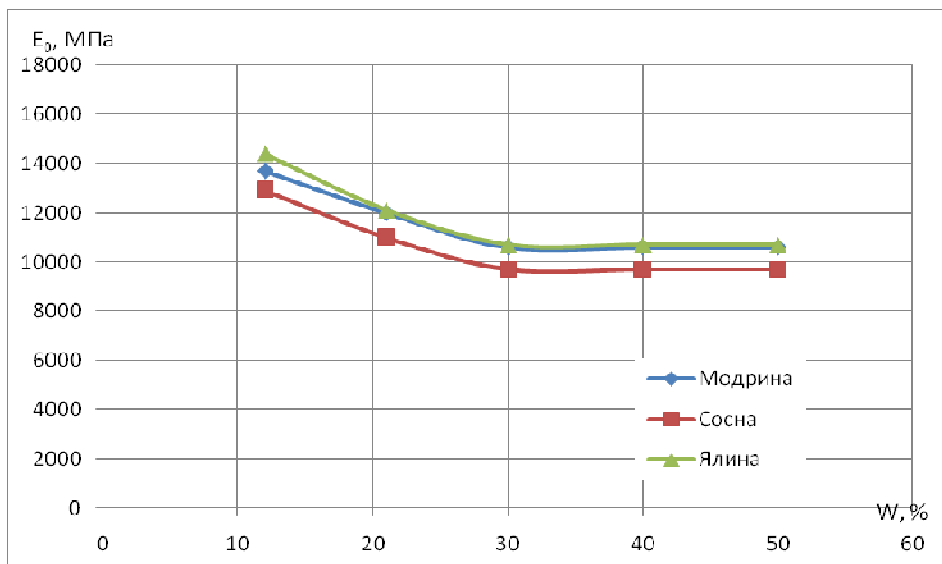


Рис. 5. Залежність початкового модуля пружності суцільної деревини хвойних порід від вологості

В табл. 2 наведено критичні деформації деревини хвойних порід, які визначені експериментальним та теоретичним шляхом. Також визначено значення пружної та пластичної складових, тому що запропонована формула (3) дозволяє це зробити.

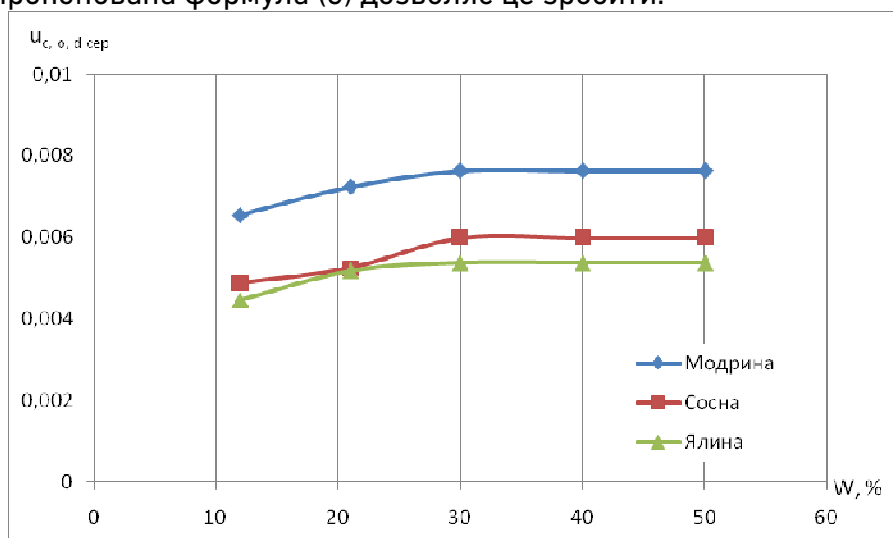


Рис. 6. Залежність усереднених критичних деформацій (між експериментальними та теоретичними) суцільної деревини хвойних порід від вологості

Таблиця 2

Значення експериментальних та теоретичних показників усереднених критичних відносних деформацій суцільної деревини хвойних порід за різного показника вологості

№ з/п	Порода деревини	$f_{c,0,d}$, МПа	E_0 , МПа	$U_{c,0,d,exp}$	$U_{c,el,th}$	$U_{c,pl,th}$	$U_{c,0,d,th}$
Вологість 30%							
1	Модрина	24,8	10600	0,00756	0,00182	0,00587	0,00769
2	Сосна	21,3	9700	0,00582	0,00220	0,00394	0,00614
3	Ялина	19,4	10700	0,00565	0,00181	0,00328	0,00509
Вологість 21%							
4	Модрина	38,9	12000	0,00717	0,00324	0,00407	0,00731
5	Сосна	29,4	11000	0,00549	0,00267	0,00233	0,00500
6	Ялина	30,6	12100	0,00532	0,00253	0,00252	0,00505
Вологість 12%							
7	Модрина	59,7	13700	0,00641	0,00436	0,00233	0,00669
8	Сосна	45,3	12900	0,00515	0,00351	0,00134	0,00485
9	Ялина	43,6	14400	0,00467	0,00303	0,00124	0,00427

Отже, проведені експериментальні та теоретичні дослідження дали змогу отримати дійсні діаграми деформування суцільної деревини хвойних порід на стиск уздовж волокон з різним показником вологості за короткочасного навантаження, а також встановили істинні значення міцності та деформівності. Також було визначено такі параметри при різній вологості.

Встановлено, що пластична складова відносних критичних деформацій зменшується при висушуванні деревини від 30 до 12%, а пружна – навпаки зростає.

Висновки

1. Розроблено методику та проведено експериментальні дослідження суцільної деревини хвойних порід на стиск уздовж волокон за короткочасного навантаження з різним показником вологості за жорсткого режиму випробувань.

2. Вперше визначено основні параметри міцності та деформівності за різного показника вологості, як на висхідній, так і на спадній вітці, повної діаграми деформування деревини хвойних порід.

3. Встановлено такі параметри за будь-якої вологості.

4. Встановлено, що пластична складова відносних критичних деформацій зменшується при висушуванні деревини від 30 до 12%, а пружна – навпаки зростає.

1. Madsen B. Recommended moisture adjustment factor for lumber stresses. *Can. J. Civil Engineering*. 1982. Vol. 9. № 4. P. 602–610. 2. Kuffner M. Elastizitätsmodul und Zugfestigkeit von Holz Verschiedenen Rohdichte in Abhängigkeit von Feuchtigkeitgehalt. *Holz als Roch und Werkstoff*. 1978. 11. S. 435–440. 3. Боровиков А. М. Влияние температуры и влажности на упругость, вязкость и пластичность древесины : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.05. Воронеж, 1970. 310 с. 4. Гринкруг Н. В. Моделирование и расчет элементов деревянных конструкций при химических агрессивных воздействиях : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Владивосток, 2004. 202 с. 5. ГССД 69–84. Древесина. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов. Издание Госстандарта СССР, 1984. 6. ASTM D 143-14. Standart test methods for small clear specimens of timber. ASTM International, West Conshohocken, PA. 2014. 7. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ : Укрархбудінформ, 2017. 111 с. 8. ДСТУ 3129:2015. Древесина. Методи відбору зразків і загальні вимоги до фізико-механічних випробувань невеликих бездефектних зразків. Київ : Мінрегіон України, 2016. 9 с. 9. Gomon Sv. Sv., Savchuck V. O., Melnyk Yu. A., Vereshko O. V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, 2020. Вип. 14. С. 73–80.

REFERENCES:

1. Madsen B. Recommended moisture adjustment factor for lumber stresses. *Can. J. Civil Engineering*. 1982. Vol. 9. № 4. P. 602–610. 2. Kuffner M. Elastizitätsmodul und Zugfestigkeit von Holz Verschiedenen Rohdichte in Abhängigkeit von Feuchtigkeitgehalt. *Holz als Roch und Werkstoff*. 1978. 11. S. 435–440. 3. Borovikov A. M. Vliyanie temperatury i vlajnosti na uprugost, vyazkost i plastichnost drevesiny : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.21.05. Voronej, 1970. 310 s. 4. Grinkrug N. V. Modelirovanie i raschet elementov derevyannyih konstruktsiy pri himicheskikh agressivnyih vozdeystviyah : diss. ... kand. tehn. nauk : 05.23.01. Vladivostok, 2004. 202 s. 5. GSSD 69–84. Drevesina. Pokazateli fiziko-mehaniicheskikh svoystv malyih chistyih obraztsov. Izdanie Gosstandarta SSSR, 1984. 6. ASTM D 143-14. Standart test methods for small clear specimens of timber. ASTM International, West Conshohocken, PA. 2014. 7. DBN V.2.6-161:2017. Konstruktsii budynkiv i sporud. Dereviani konstruktsii. Osnovni polozhennia. Kyiv : Ukrarkhbudinform, 2017. 111 s. 8. DSTU 3129:2015. Derevyina. Metody vidboru zrazkiv i zahalni vymohy do fizyko-

mekhanichnykh vyprobuvan nevelykykh bezdefeknykh zrazkiv. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2016. 9 s. 9. Gomon Sv.Sv., Savchuck V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. Lutsk, 2020. Vyp. 14. S. 73–80.

Homon S. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Matviiuk O. V., Senior Lecturer, Savchuck S. M., Graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Vereshko O. V., Senior Lecturer** (Lutsk National Technical University), **Kulakovskiy L. Y., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Lecturer** (National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»)

INFLUENCE OF AGGRESSIVE ENVIRONMENT ON STRENGTH AND DEFORMABLE INDICATORS OF CONTINUOUS TIMBER OF CONIFEROUS BREEDS

Timber is used in many industries and is exposed to various aggressive environments, both protected and unprotected. Such materials work in aqueous, alkaline, and acidic environments. Due to the aggressive action of the physical and mechanical properties of wood undergo certain changes, usually deteriorating. A detailed analysis of the literature of domestic and foreign scientists to study the impact of aggressive environments on the strength and deformability of solid timber of deciduous and coniferous species. The technique is developed and experimental researches of continuous timber of coniferous breeds on compression along fibers at short-term loading with various indicators of humidity at a rigid mode of tests are carried out. The volume of experimental researches is given. The total number of tested samples of solid timber of all studied species is 54 pcs. For the first time, the main parameters of strength and deformability at different humidity indicators, both on the ascending and descending branches, of the complete deformation diagram of coniferous timber were determined. The dependences of such parameters as ultimate strength, initial modulus of elasticity, and critical deformations on different humidity are established. After analyzing the test results, we conclude that the reduction of timber

moisture from 30% to 12% contributes to a significant increase in its strength for softwoods – 2.1–2.4 times. At the same time deformability of deciduous and coniferous breeds decreases. The decrease in deformability can be explained by the fact that timber with higher humidity is a more malleable material compared to timber with lower humidity. It is established that the plastic component of relative critical deformations decreases at drying of wood from 30 to 12%, and elastic – on the contrary increases.

***Keywords:* solid timber; aggressive environment; strength; deformability; humidity; initial modulus of elasticity.**

Гомон Св. Св., к.т.н., доцент, Матвиюк А. В., ст. преподаватель, Савчук С. Н., магистрант (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно), Верешко О. В., ст. преподаватель (Луцкий национальный технический университет), Кулаковский Л. Я., к.т.н., ст. преподаватель (Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»)

ВОЗДЕЙСТВИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПЛОШНОЙ ДРЕВЕСИНЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД

Разработана методика и проведены экспериментальные исследования цельной древесины хвойных пород на сжатие вдоль волокон по кратковременной нагрузке с разным показателем влажности за жесткого режима испытаний. Впервые определены основные параметры прочности и деформивности за разного показателя влажности, как на восходящей, так и на нисходящей ветвях, полной диаграммы деформирования древесины хвойных пород. Установлены зависимости таких показателей, как предельная прочность, начальный модуль упругости и критические деформации, от различной влажности.

***Ключевые слова:* сплошная древесина; агрессивная среда; прочность; деформативность; влажность; начальный модуль упругости.**
