

УДК 624.011

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СІЧНОГО
МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ДЕРЕВИНИ ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОСТІ ЇЇ
НАСИЧЕННЯ ВОДОЮ**

**EXPERIMENTAL AND STATISTICAL RESEARCH OF SECANT
MODULUS OF ELASTICITY OF WOOD DEPENDING ON DURATION
OF ITS IMPREGNATION TIME WITH WATER**

**Гомон С.С., к.т.н., проф., Поліщук М. В., аспірант (Національний
університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

**Gomon S.S, candidate of technical sciences, professor, Polishchuk M. V., post-
graduate student (National university of water management and environmental
engineering, Rivne)**

**Наведено результати експериментально-теоретичних досліджень зразків
конструкційних розмірів з цільної деревини першого сорту за сумісної
дії стиску вздовж волокон та вологи. Встановлено величину змін модуля
пружності вологої деревини в залежності від терміну просочення.**

**Wood is one of the most important building materials. However, it remains
relevant to study its work under different operating conditions. The article is
devoted to the study of the modulus of elasticity, depending on the duration
time of wooden samples impregnation with water. The experimental
specimens (dimensions 45 mm x 45 mm x 250 mm) were tested under
compression along the fibers. Relative deformations were measured during
the test. On the basis of this, the calculation of the secant modulus of elasticity
was carried out and the diagrams of its dependence on stresses were
constructed. The maximum impregnation time of wood was 5 days and a
minimum of 30 minutes. The wet test results were compared to the same dry
specimens at a standard moisture content of 12 percent.**

**The study made it possible to conclude that the wood strength after 30
minutes of impregnation with water is significantly reduced, and the
dependence of the modulus of elasticity on stresses is linear and gradually
decreases with increasing time of impregnation.**

Ключові слова:

**Вологість, деревина, модуль пружності, міцність, стиск, деформації.
Humidity, wood, modulus of elasticity, strength, compression, deformation.**

Вступ. Добре відомим є той факт, що дерев'яні конструкції були основними при зведенні будівель протягом багатьох минулих століть. Маючи ряд таких позитивних якостей як висока міцність при відносно малій масі, мала теплопровідність, легка оброблюваність та підвищена транспортабельність, деревина залишає за собою широкі перспективи застосування як у наш час так і в майбутньому. Великою перевагою деревини порівняно з іншими будівельними матеріалами є й те, що вона єдина самостійно поновлюється у природі. Крім того завдяки сучасним засобам вогнезахисту та захисту від загнивання забезпечується необхідна довговічність дерев'яних конструкцій при найрізноманітніших умовах експлуатації. При цьому актуальним залишається питання дослідження законів силового деформування деревини в таких умовах для більш точного розрахунку дерев'яних елементів.

Стан питання та задачі дослідження. Характеристики деревини, зокрема такі важливі параметри як міцність та модуль пружності, значною мірою залежать від вмісту вологи. Визначається вологість відсотковим відношенням маси води до маси сухого дерева та змінюється в залежності від вологості навколишнього середовища. При збільшенні вологості на 1 % міцність у середньому знижується на 3-5%. Питання про зміну пружних характеристик деревини неодноразово порушувалось і дійсно було встановлено зниження даних характеристик за збільшення вологості [1, 2, 3].

Метою даної роботи є дослідження зміни міцності та модуля пружності дерев'яних зразків конструкційних розмірів залежно від тривалості їх перебування у воді та побудова діаграм залежностей $E' - \eta$ (січний модуль пружно-пластичності – рівень напружень) для цільної деревини.

Методика досліджень та конструкція зразків. Для проведення досліджень було виготовлено цільні зразки у вигляді призм із деревини сосни довжиною вздовж волокон 250 мм та поперечним перерізом 45x45 мм. Ширина річних кілець на торцях зразків була не більшою 4 мм. Усі грані під час виготовлення заготовок чисто оброблювалися. Для досягнення поставленої задачі виготовлялося декілька серій таких призм залежно від часу витримки у воді. Кожна серія налічувала по 5 зразків. Відтак призми першої серії насичувались водою протягом 30-ти хвилин (П-0,5), другої – протягом 1 години (П-1), третьої – протягом доби (П-24) та четвертої – протягом 5-ти діб (П-120).

Для вимірювання деформацій поздовжніх волокон деревини використовувались індикатори МИГ-2, які кріпились до металевих тримачів, що у свою чергу приклеювались до бокових граней призм епоксидним клеєм (рис. 1). База вимірювань складала 100 мм.

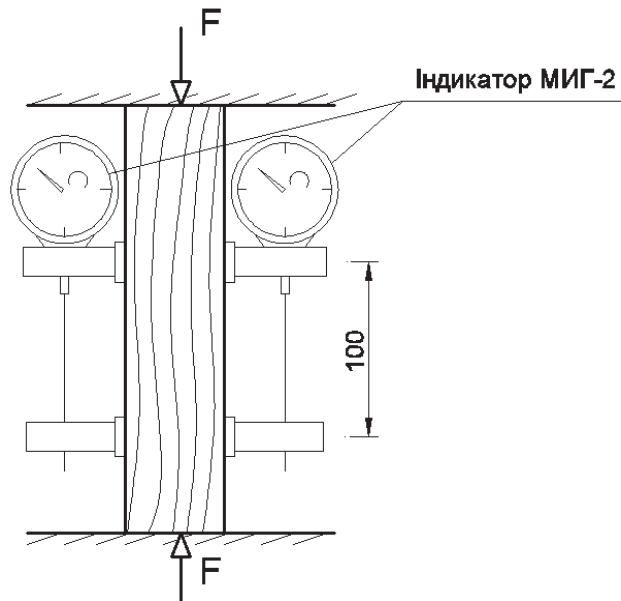


Рис.1. Схема розміщення індикаторів та завантаження дослідного зразка

Основна частина. Навантаження до зразків прикладалось за допомогою преса ступенями по 5 кН із постійним контролем розвитку деформацій. У результаті обробки отриманих даних було побудовано графіки деформування поздовжніх волокон деревини насиченої водою (рис.2). Слід відмітити, що результати випробування насичених водою зразків (П-0,5...П-120) порівнювались із аналогічними зразками (П-0) за стандартної вологості 12%, які були попередньо випробувані також у кількості 5 шт. На графіку відображено усереднені значення з поміж п'яти зразків кожної серії. Помітно, що зразки які перебували у воді значно втратили свою міцність.

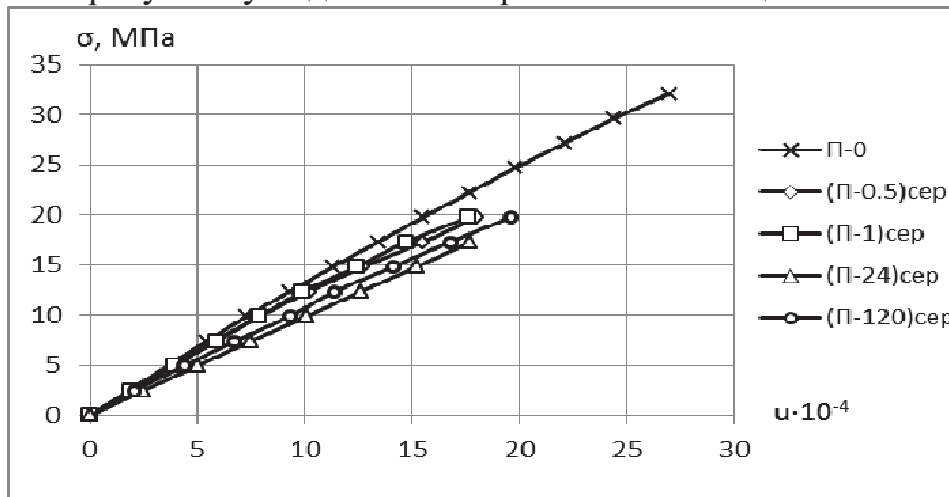


Рис.2. Діаграма деформування деревини “ $\sigma_{\delta} - u_{\delta}$ ” при роботі деревини (сосни) на стиск вздовж волокон

На основі отриманих напружень та деформацій на кожному ступені навантаження було розраховано січний модуль пружно-пластичності:

$$E' = \frac{\sigma}{u} = E_o \pm \frac{E_o - E_{f_{c,0,d}}}{f_{c,0,d}} \cdot \sigma = E_o (1 \pm \lambda_{f_{c,0,d}} \eta), \quad (1)$$

де $\lambda_{f_{c,0,d}} = \frac{u_{pl,d}}{u_{1,d}}$ – коефіцієнт пластичності деревини вздовж волокон за

$\sigma = f_{c,0,d}$, що визначаються шляхом обробки дослідних даних методами математичної статистичної обробки; $u_{pl,d}$ – пластичні деформації деревини вздовж волокон; $u_{1,d}$ – пружні деформації деревини вздовж волокон;

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

Розрахунки показали лінійну залежність модуля пружності E' від рівня навантажень η при випробуваннях на стиск насичених водою зразків аналогічно зразкам попередньо випробуваним за стандартної вологості. На рис. 3 наведені середні значення E' для кожної серії із п'яти зразків на кожному рівні насичення водою П-0,5...П-120 та середні значення для п'яти зразків за нормальної вологості П-0.

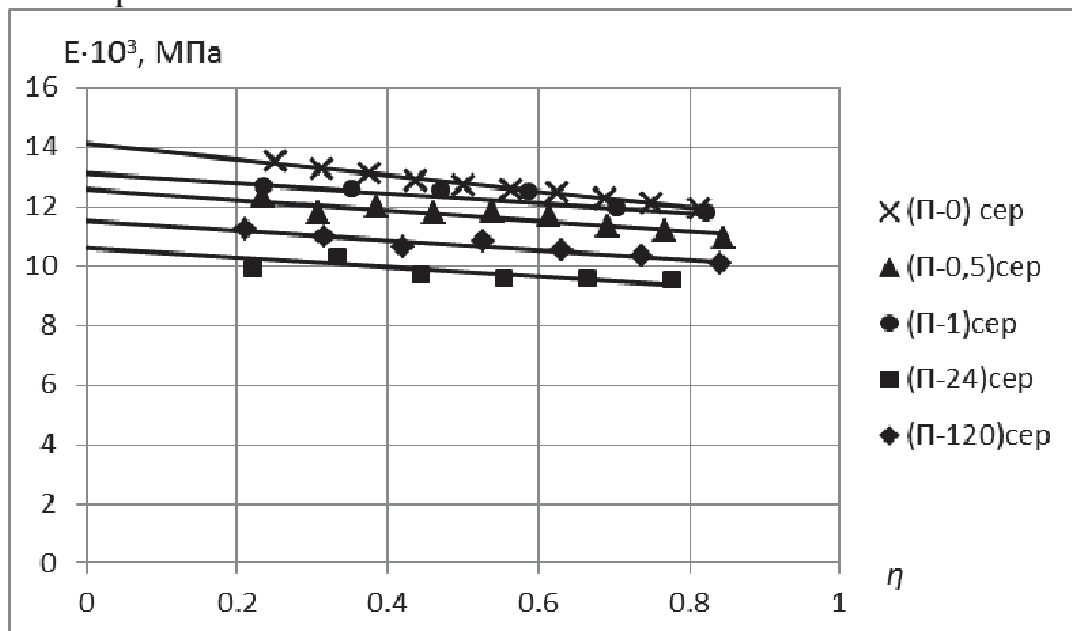


Рис.3. Діаграми зміни січного модуля пружності вздовж волокон цільної деревини за дії короткочасного навантаження при різних рівнях насичення водою

Дослідження залежностей здійснювалося шляхом виконання математично - статистичного аналізу отриманих результатів кривих деформування деревини вздовж волокон методом найменших квадратів. Дослідні точки при цьому бралися з інтервалу напружень $\eta = (0,2 \dots 0,8)$ згідно рекомендацій [4, 5, 6]. Очікувана лінійна залежність підтвердилась високим ступенем відповідності кореляційних та дослідних значень деформацій, а саме: абсолютна величина коефіцієнта кореляції r є близькою до одиниці, її достовірність r/m_r у всіх випадках більше чотирьох, а найбільше значення

варіаційного коефіцієнта відношень $\frac{u^{докл}}{u^{кор}}$ склало $V = 2,62 \%$. У табл. 1.

наведені основні параметри залежностей $E' - \eta$ для середніх значень кожної серії зразків, що працювали на стиск вздовж волокон та їх статистики.

Експериментальні дослідження проводились на зразках конструкційних розмірів об'ємом деревини при стиску не менше 370 см^3 за рекомендаціями Свеницького Г.В., Знаменського Е.М. та Тутуріна С.В. [7, 8, 9].

Таблиця 1

Основні параметри і статистики кореляційних рівнянь регресії « $E' - \eta$ »

Назва зразка	Тимчасова міцність, МПа	Кореляційне рівняння	r	m_r	$\frac{r}{m_r}$	$V, \%$
(П-0)сер	32,2	$E' = 14\ 121 \cdot (1 - 0,068 \cdot \eta)$	0,998	0,001	734	0,27
(П-0,5)сер	24,2	$E' = 12\ 580 \cdot (1 - 0,055 \cdot \eta)$	0,893	0,072	13	1,35
(П-1)сер	21,0	$E' = 13\ 111 \cdot (1 - 0,080 \cdot \eta)$	0,915	0,058	16	1,65
(П-24)сер	20,8	$E' = 10\ 603 \cdot (1 - 0,072 \cdot \eta)$	0,835	0,115	7	2,30
(П-120)сер	20,5	$E' = 11\ 518 \cdot (1 - 0,070 \cdot \eta)$	0,955	0,033	29	1,00

Висновки. Як видно з діаграм на рис.3 значення січного модуля пружності дещо зменшилося в результаті насичення дерев'яних зразків водою. Призми, які перебували у воді протягом 5-ти діб у середньому мають на 8 % менше значення E' ніж ті, що насичувались 30 хвилин та на 18 % менше за аналогічні сухі при стандартній вологості у 12 %. Проте можна з упевненістю говорити про закономірне зниження величини модуля деформацій залежно від перебування зразків у воді.

Водночас слід відмітити суттєвий вплив вологи на міцність дерев'яних зразків (табл.1). Відтак середня тимчасова міцність стиску вздовж волокон для сухих зразків складала 32 МПа, а починаючи з 30 хв насичення різко падала до 20 МПа, тобто знижувалась майже на 40 % і в таких межах залишалась до 5-ти діб. Крім того найбільше насичення сосни водою фіксувалось протягом перших 30-ти хвилин при цьому вологість збільшилась у середньому на 10 %. На наступні 10 % вона збільшилась протягом першої доби, а ще на 10 % вже за наступні дві доби. Загалом за 5 діб вологість збільшилася майже до 35%.

1. Сопушинський І. До питання методики визначення щільності деревини у зв'язку із зміною вологості. / Сопушинський І. Вінтонів А. Тайшінгер Р. Міхалюк Г. Гриник// Науковий вісник НЛТУ України, 2003.

2. Соколівський Я І Визначення анізотропних пружних характеристик деревини акустичним методом / Соколівський Я І, Сторожук О Л/ Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК; № 185 Част. 2. 2013.

3. Федосенко И. Г. Влияние влажности на прочность при статическом изгибе уменьшенных образцов древесины / И. Г. Федосенко // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2011 – С. 208-211.

4. Макаренко Л.П. Практический способ определения модуля упругости упруго-пластических характеристик бетона при сжатии / Л.П. Макаренко, Г.А. Фенко // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1970. – №10. – С. 141-147.

5. Битько Н.М. Экспериментально-статистические исследования секущего модуля деформаций песчаного бетона при длительном центральном сжатии нагрузкой различной интенсивности / Н.М. Битько, О.В. Кузнецова, В.В. Бойко // Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.- Вип. 34. Рівне, НУВГП, 2017.- С. 95-102.

6. Гомон С.С. Экспериментально-статистичні дослідження залежностей «січний модуль-рівень напружень» для цільної та клеєної деревини / С.С. Гомон, М.В. Поліщук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. - Випуск 35. - Рівне, 2018. - С.60-67.

7. Свенцицкий Г.В. О пределе пластического течения при поперечном изгибе и при сжатии с изгибом / Г.В. Свенцицкий // Сб. ЦНИПС. Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций. – 1952. – с. 69 – 74.

8. Знаменский Е.М. Несущая способность элементов деревянных конструкций при статическом и динамическом нагружении / Е.М. Знаменский.- М.: 1956.

9. Тутурин С.В. Механическая прочность древесины / Сергей Викторович Тутурин / Дис. д. т. н. – М.: МГУ, 2005. – 318с.

1. Sopushyns'kyy I. Do pytannya metodyky vyznachennya shchil'nosti derevyny u zv'yazku iz zminoyu volohosti. / Sopushyns'kyy I. Vintoniv A. Tayshinher R. Mikhalyak H. Hrynyk // Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny, 2003.

2. Sokolivs'kyy YA I Vyznachennya anizotropnykh pruzhnykh kharakterystyk derevyny akustychnym metodom / Sokolivs'kyy YA I, Storozhuk O L/ Naukovyy visnyk NUBiP Ukrayiny. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK; № 185 Chast. 2. 2013.

3. Fedosenko I. G. Vliyaniye vlazhnosti na prochnost' pri staticheskom izgibe umen'shennykh obraztsov drevesiny / I. G Fedosenko // Trudy BGTU. №2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'. – 2011 – S. 208-211.

4. Makarenko L.P. Prakticheskiy sposob opredeleniya modulya uprugosti uprugoplasticheskikh kharakteristik betona pri szhatii / L.P. Makarenko, G.A. Fenko // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. – 1970. – №10. – S. 141-147.

5. Bit'ko N.M. Eksperimental'no-statisticheskiye issledovaniya sekushchego modulya deformatsiy peschanogo betona pri dlitel'nom tsentral'nom szhatiinagruzkoj razlichnoy intensivnosti/ N.M. Bit'ko, O.V. Kuznetsova, V.V. Boyko // Zb. Resursoyekonomni materialy, konstruktsiï, budivli ta sporudi.- Vip. 34. Rívne, NUVGP, 2017.- S. 95-102.

6. Gomon S.S. Eksperymental'no-statystichni doslidzhennya zalezhnostey «sichnyy modul'-riven' napruzhen'» dlya tsil'noyi ta kleyenoyi derevyny/ S.S. Gomon, M.V. Polishchuk // Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Zbirnyk naukovykh prats'. - Vypusk 35. - Rivne, 2018. - S.60-67.

7. Svetsitskiy G.V. O predele plasticheskogo techeniya pri poperechnom izgibe i pri szhatii s izgibom / G.V. Svetsitskiy // Sb. TSNIPS. Voprosy prochnosti i izgotovleniya derevyannykh konstruktsiy. – 1952. – s. 69 – 74.

8. Znamenskiy Ye.M. Nesushchaya sposobnost' elementov derevyannykh konstruktsiy pri staticheskom i dinamicheskom nagruzhenii / Ye.M. Znamenskiy.- М.: 1956.

9. Tuturin S.V. Mekhanicheskaya prochnost' drevesiny / Sergey Viktorovich Tuturin / Dis. d. t. n. – М.: МГУ, 2005. – 318с.