

УДК 624.011.01

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ЗАЛЕЖНОСТЕЙ «СІЧНИЙ МОДУЛЬ-РІВЕНЬ НАПРУЖЕНЬ» ДЛЯ
ЦІЛЬНОЇ ТА КЛЕСНОЇ ДЕРЕВИНИ**

**AN EXPERIMENTAL AND STATISTICAL INVESTIGATION OF
«MODULUS OF ELASTICITY - STRESS LEVEL» DEPENDENCIES OF
SOLID AND GLUED TIMBER**

Гомон С.С., к.т.н., проф., [ORCID 0000-0003-2080-5650](https://orcid.org/0000-0003-2080-5650) Поліщук М. В.,
аспірант [ORCID 0000-0003-1981-8008](https://orcid.org/0000-0003-1981-8008) (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 managements and environmental
engineering, Rivne)

У статті наведені результати експериментально-статистичних досліджень зразків сухої цільної та клесної деревини конструкційних розмірів з сосни першого сорту за дії стиску вздовж волокон. Досліджено зміну величини модуля пружності від початку завантаження до руйнування дерев'яних елементів та на основі цього отримано залежності $E' - \eta$ (січний модуль – рівень напружень).

In the past few decades, both in our country and abroad, buildings and structures have been constructed using wooden glued structures which can have spans of 20 to 120 m. During the design calculation of these constructions one must necessarily take into account their deformed state. In most cases, calculations are made using software, where one of the output data is the value of the modulus of elasticity of timber. Different values of internal forces in the elements of wooden constructions depend on this value. In their turn cross-sections dimensions depend on values of internal forces. That is why one of the important tasks in the design and calculation of wooden structures remains the justified choice of the modulus of elasticity value, which is also enhanced by such properties of timber as anisotropy and creep.

The article presents the results of experimental and statistical investigations of dry solid and glued timber samples, which have been investigated during compressing along the fibers. The variation of the modulus of elasticity from the beginning of loading to the destruction of wooden elements has been studied and on the basis of this the dependences $E' - \eta$ (modulus of elasticity - stress level) have been obtained.

Ключові слова:

Деревина, міцність, стиск, деформації, модуль пружності.
Wood, strength, compression, deformation, modulus of elasticity.

Вступ. Використання екологічно-чистої деревини різних порід в будівництві уже багато століть як єдиного матеріалу, що відновлює природа, є перспективним, безпечним, естетичним будівельним матеріалом. Винахід же клеєної та модифікованої деревини дає можливість її використання у всіх напрямках будівництва. Послідовний перехід країн пострадянського простору до впровадження розрахункових деформаційних моделей в розрахунках будівельних конструкцій приводять до проблеми вивчення роботи деревини під навантаженням від початку завантаження і до повної втрати несучої здатності. Дослідження ж законів силового деформування деревини дає можливість об'єктивно враховувати властивості матеріалу в оцінюванні роботи під навантаженням та проектуванні конструктивних елементів з деревини.

Стан питання та задачі дослідження. У більшості проведених на даний час відомих експериментальних досліджень деформування деревини під навантаженням, як за стиску, так і за розтягу вздовж волокон, ставилася задача вивчення роботи деревини та побудова залежності $\sigma_d - u_d$ (напруження-деформації) в основному з висхідною ділянкою деформування. В дослідженнях механічного стану деревини використовували як прямий метод одержання діаграм деформування матеріалу на зразках, так і опосередкований. Завантаження зразків виконувалося поетапно з контролем швидкості зростання навантажень [1, 2, 3, 4]. Але практично не проводилися дослідження модуля пружно-пластичності цільної та клеєної деревини під навантаженням

Метою даної роботи є розробка методики визначення залежностей $E' - \eta$ (січний модуль пружно пластичності – рівень напружень) для цільної та клеєної деревини.

Методика досліджень та конструкція зразків. Для дослідження деформування деревини за короткочасного стиску вздовж волокон були виготовлені зразки призм з цільної та клеєної деревини з контрольованою вологістю 12%. Всі зразки з сосни, прийняті такими, що наближені до конструкційних розмірів - 45x45x250 мм. Виготовлення зразків для серії випробувань у формі призм з цільної деревини (ПЦ) проводили з одного довгого бруска по десять-дванадцять заготовок. Виготовлення зразків з клеєної деревини (ПК) для серії випробувань проводили шляхом вирізання їх із припорних ділянок попередньо виготовлених дощатоклеєних балок. Всі грані після виготовлення зразків були чисто оброблені. В процесі підготовки до випробувань для вимірювання відносних деформацій волокон деревини на кожну з граней були наклеєні тензодатчики вздовж волокон – з базою 50 мм, поперек – з базою 20 мм [5]. Покази з тензодатчиків знімалися за

допомогою тензометричної системи СІИТ-3. На початку випробувань кожен із зразків з деревини був відцентрований спочатку по геометричних, а згодом по фізичних осях. Навантаження дослідних зразків проводилося ступенями з витримкою 3-5 хвилин для зняття показів тензодатчиків за допомогою приладу СІИТ-3м.

Схему завантаження зразків наведено на рис. 1.

Враховуючи те, що деревина є анізотропним матеріалом і її робота під навантаженням в значній мірі залежить від орієнтації волокон деревини, особлива увага під час випробувань дослідних зразків приділялась визначенню та порівнянню деформацій волокон деревини у двох взаємно перпендикулярних напрямках - повздовжньому та поперечному.

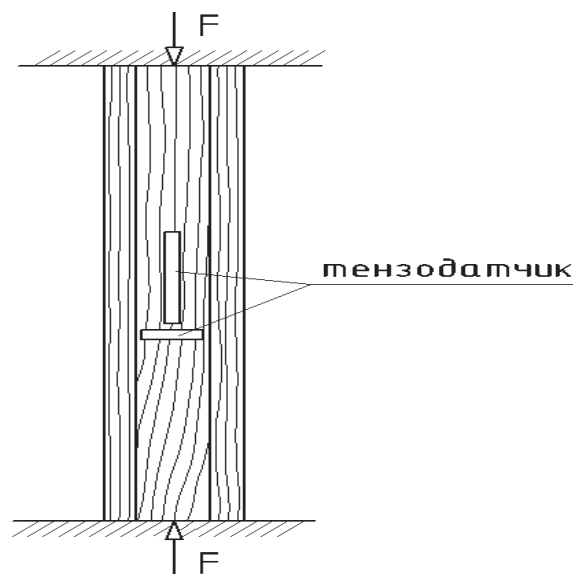


Рис.1. Схема розміщення тензодатчиків та завантаження дослідного зразка

Основна частина. Навантаження до зразків прикладалось ступенями по 5 кН із постійним контролем розвитку деформацій деревини. Після обробки отриманих результатів було побудовано графіки деформування сухої деревини вздовж волокон в залежності від напружень (рис.2).

Необхідно мати на увазі, що січний модуль пружно-пластичності деревини за стиску дорівнює куту нахилу січної кривої " $\sigma - u$ " до осі u :

$$E' = \operatorname{tg} \alpha' = \frac{\sigma}{u}. \quad (1)$$

Проведені нами досліді показали, що за нелінійної залежності ($\sigma - u$) залежність " січний модуль деформацій - напруження" ($E' - \sigma$) при стиску вздовж волокон деревини, завантаженої з постійною швидкістю приросту навантаження або деформацій на висхідній гілці діаграми, є лінійною

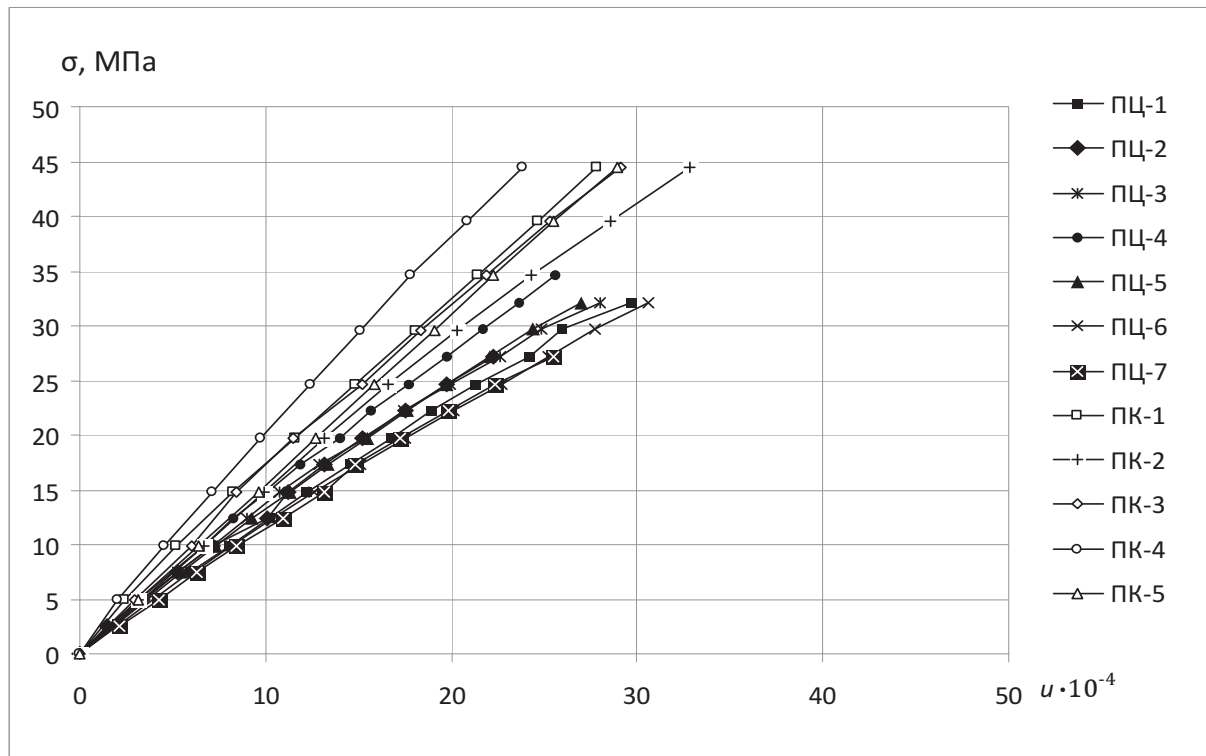


Рис.2. Діаграма деформування деревини “ $\sigma_{\delta} - u_{\delta}$ ” при роботі деревини (сосни) на стиск ВЗДОВЖ ВОЛОКОН

$$E' = \frac{\sigma}{u} = E_o \pm \frac{E_o - E_{f_{c,0,d}}}{f_{c,0,d}} \cdot \sigma = E_o (1 \pm \lambda_{f_{c,0,d}} \eta), \quad (2)$$

де $\lambda_{f_{c,0,d}} = \frac{u_{pl,d}}{u_{l,d}}$ – 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; $u_{pl,d}$ – пружні деформації деревини вздовж волокон;

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

При побудові залежностей $E' - \eta$ до уваги в основному брали дослідні точки в інтервалі напружень $\eta = (0,2 \dots 0,8)$ згідно рекомендацій [6, 7].

Залежність має лінійний характер при випробуванні на стиск вздовж волокон переважної більшості зразків з цільної і клеєної деревини, які не мають вад. Цей висновок підтверджується після виконання математично - статистичного аналізу отриманих результатів кривих деформування деревини

вздовж волокон методом найменших квадратів. Параметри залежностей між січним модулем деформацій і напруженням (січним модулем деформацій – рівнем напружень) для всіх зразків, що працювали на стиск вздовж волокон та їх статистики наведені в табл. 1.

Січний модуль деформацій E' для цільної та клеєної деревини, яка працює на стиск вздовж волокон зі збільшенням рівня напружень η постійно зменшується (див. рис.3 та 4).

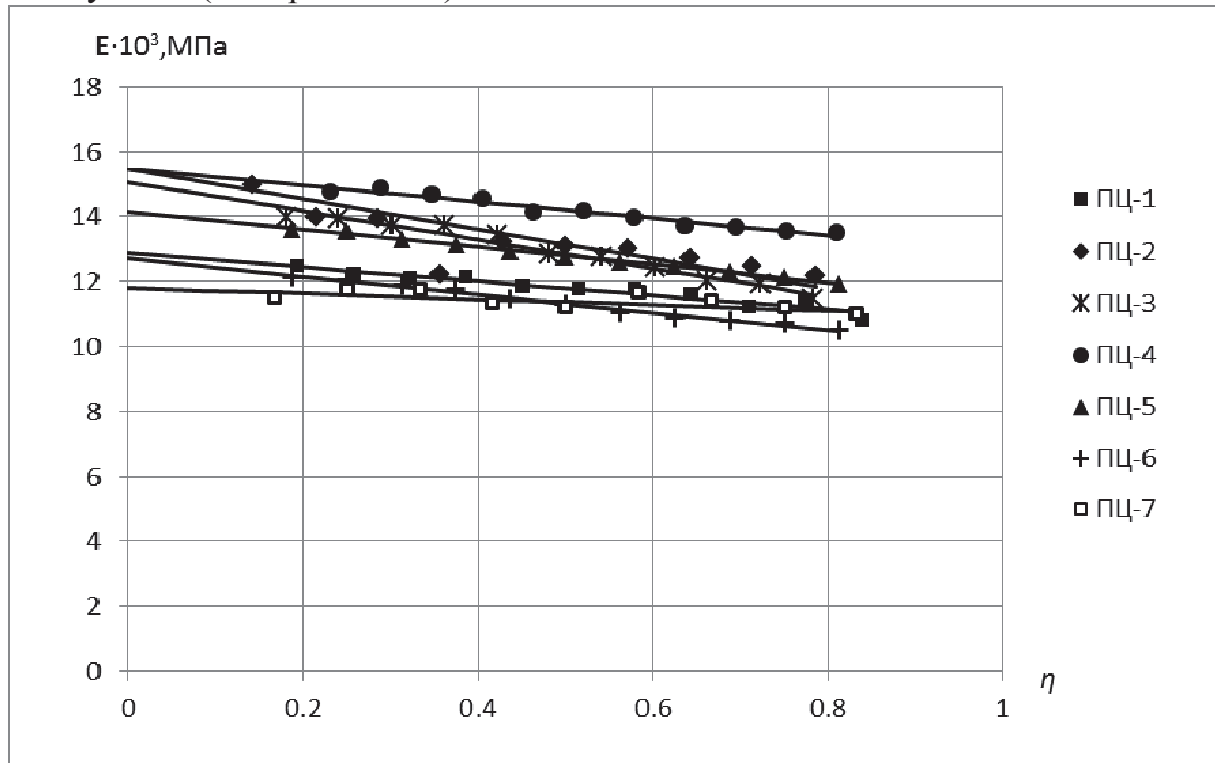


Рис.3. Діаграми зміни січного модуля деформацій вздовж волокон цільної деревини за дії короткочасного навантаження

Результати статистичної обробки дослідних даних методом різниці найменших квадратів підтвердили лінійність залежностей $E' - \eta$ і хорошу ступінь відповідності кореляційних та дослідних значень деформацій: абсолютна величина коефіцієнта кореляції r близька до одиниці, її достовірність r/m_r завжди більше чотирьох, найбільше значення

варіаційного коефіцієнта відношень $\frac{u^{досл}}{u^{кор}}$ склало $V = 4,75\%$.

Всі експериментальні дослідження, за рекомендаціями Свеницького Г.В., Знаменського Е.М. та Тутуріна С.В. було проведено на зразках конструкційних розмірів об'ємом деревини для стиску не менше 370 см^3 [8, 9, 10].

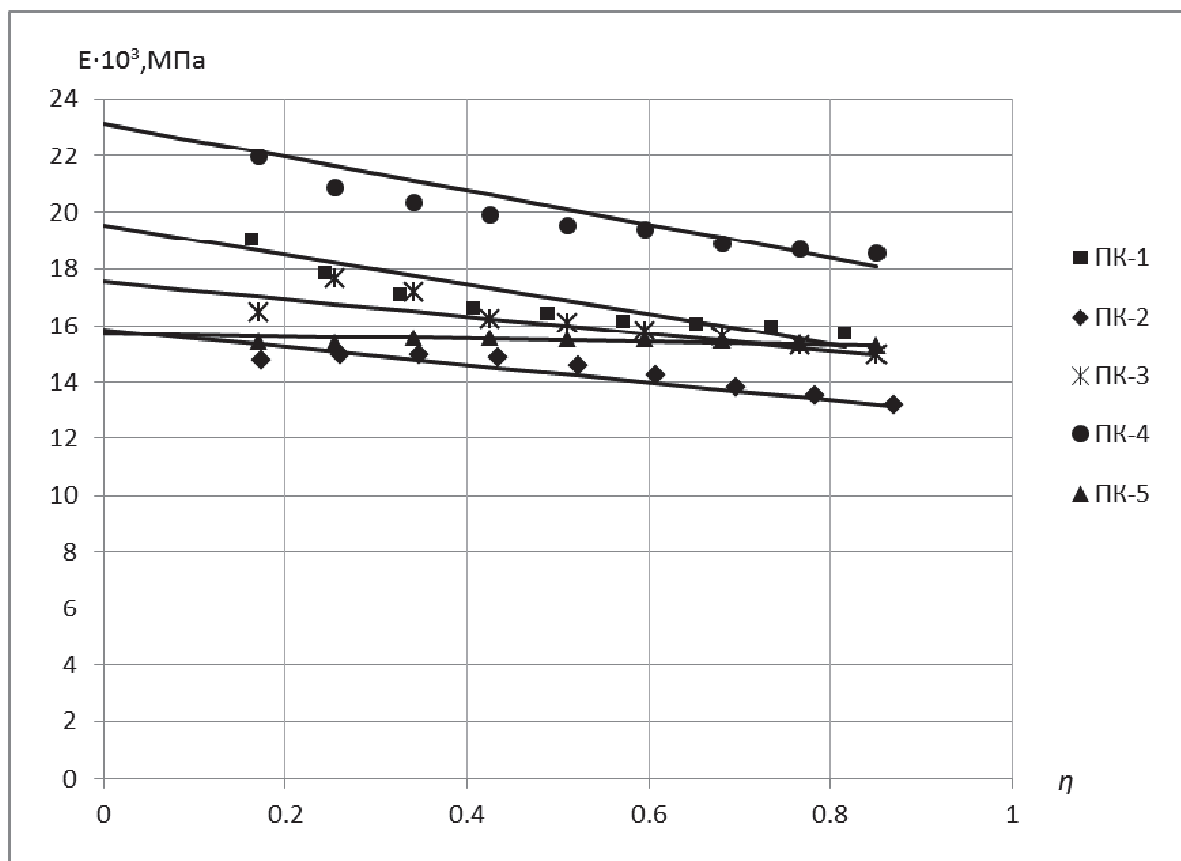


Рис.4. Діаграми зміни січного модуля деформацій вздовж волокон цільної деревини за дії короткочасного навантаження

Таблиця 1

Основні параметри кореляційних рівнянь залежності ($E' - \eta$) та їх статистики

Назва зразка	Кореляційне рівняння	r	m_r	$\frac{r}{m_r}$	$V, \%$
ПЦ-1	$E' = 12,858 \cdot (1 - 0,056 \cdot \eta)$	0,959	0,024	40	1,13
ПЦ-2	$E' = 15,446 \cdot (1 - 0,133 \cdot \eta)$	0,840	0,089	9	4,75
ПЦ-3	$E' = 15,024 \cdot (1 - 0,107 \cdot \eta)$	0,984	0,009	104	1.12
ПЦ-4	$E' = 15,467 \cdot (1 - 0,060 \cdot \eta)$	0,977	0,014	71	0,71
ПЦ-5	$E' = 14,121 \cdot (1 - 0,068 \cdot \eta)$	0,998	0,001	734	0,27
ПЦ-6	$E' = 12,702 \cdot (1 - 0,070 \cdot \eta)$	0,994	0,004	283	0,53
ПЦ-7	$E' = 11,801 \cdot (1 - 0,030 \cdot \eta)$	0,725	0,143	5	1.93
ПК-1	$E' = 19,563 \cdot (1 - 0,087 \cdot \eta)$	0,902	0,056	16	3,67
ПК-2	$E' = 15,848 \cdot (1 - 0,055 \cdot \eta)$	0,930	0,041	23	2,42
ПК-3	$E' = 17,543 \cdot (1 - 0,053 \cdot \eta)$	0,861	0,078	11	2,94
ПК-4	$E' = 23,140 \cdot (1 - 0,102 \cdot \eta)$	0,894	0,061	15	3,74
ПК-5	$E' = 15,716 \cdot (1 - 0,032 \cdot \eta)$	0,743	0,135	5.5	0,78

Висновки. 1. На основі проведених експериментально-теоретичних досліджень були отримані дані про зміну величини модуля пружності під навантаженням. За допомогою статистичного методу різниці найменших квадратів встановлено, що залежність зміни модуля пружності E' від рівня напружень в деревині η є лінійною.

2. Встановлено, що при збільшенні рівня напружень η значення січного модуля E' поступово зменшується.

1. Леннов В.Г. Экспериментальное исследование древесины на сжатие и растяжение вдоль волокон с учетом длительного действия нагрузки / В.Г. Леннов//Известия вузов. Строительство и архитектура,- 1958.- №2. – С.147-157.

2. Быков В.В. Экспериментальные исследования прочности и деформативности древесины сибирской лиственницы при сжатии и растяжении вдоль волокон с учетом длительного действия нагрузки / В.В. Быков// Известия вузов. Строительство и архитектура,- 1967.- №8. – С.3-8.

3. Шеховцов А.С. Исследование напряженно-деформированного состояния сжатого-изогнутых несущих стержневых элементов деревянных сетчатых куполов и совершенствование их узловых соединений/ А.С. Шеховцов// Автореф. Дис. ...канд. техн. наук: 05.23.01 – Санкт-Петербург, 2008.- 23с.

4. Гомон С.С. Діаграми механічного стану деревини сосни за одноразового короткочасного деформування до повної втрати міцності матеріалу/ С.С.Гомон, С.С.Гомон, Т.А.Сасовський// Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.- Вип. 23. Рівне, НУВГП, 2012.- С. 161-166.

5. ГОСТ 21615–76 Тензорезисторы. Методы определения характеристик.- М.: Стройиздат, 1976 - 10с.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

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

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

1. Lennov V.G. Eksperimental'noye issledovaniye drevesiny na szhatiye i rastyazheniye vdol' volokon s uchetom dlitel'nogo deystviya nagruzki / V.G. Lennov//Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura,- 1958.- №2. – S.147-157.

2. Bykov V.V. Eksperimental'nyye issledovaniya prochnosti i deformativnosti drevesiny sibirskoy listvennitsy pri szhatii i rastyazhenii vdol' volokon s uchetom dlitel'nogo deystviya nagruzki / V.V. Bykov// Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura,- 1967.- №8. – S.3-8.

3. Shekhovtsov A.S. Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya szhato-izognutykh nesushchikh sterzhnevnykh elementov derevyannykh setchatykh kupolov i sovershenstvovaniye ikh uzlovykh soyedineniy/ A.S. Shekhovtsov// Avtoref. Dis. ...kand. tekhn. nauk: 05.23.01 – Sankt-Peterburg, 2008.- 23s.

4. Homon S.S. Diahrami mekhanichnogo stanu derevyny sosny za odnorazovoho korotkochasnoho deformuvannya do povnoyi Vtrata mitsnosti materialu / S.S.Homon, S.S.Homon, T.A.Sasovs'kiy // Zb. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, Budivli ta sporudi.- Vyp. 23. Rivne, NUVHP, -2012 S. 161-166.

5. GOST 21615–76 Tenzorezistory. Metody opredeleniya kharakteristik.- M.: Stroyizdat, 1976 - 10s.

6. Makarenko L.P. Prakticheskyy 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.

7. Bit'ko N.M. Eksperimental'no-statisticheskoye issledovaniya sekushchego modulya deformatsiy peschanogo betona pri dlitel'nom tsentral'nom szhatiinagruzkoy razlichnoy intensivnosti/ N.M. Bit'ko, O.V. Kuznetsova, V.V. Boyko// Zb. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudi.- Vip. 34. Rivne, NUVGP, 2017.- S. 95-102.

8. 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.

9. Znamenskiy Ye.M. Nesushchaya sposobnost' elementov derevyannykh konstruktsiy pri staticheskom i dinamicheskom nagruzhennii / Ye.M. Znamenskiy.- M.: 1956.

10. Tuturin S.V. Mekhanicheskaya prochnost' drevesiny/Sergey Viktorovich Tuturin/ Dis. d. t. n. – M.: MGU, 2005. – 318s.