

DOI: 10.32347/2076-815x.2020.74.92-101

УДК 539.3

к.т.н., професор **Гомон С.С.**,  
s.s.homon@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2080-5650, h-index:1,к.т.н., доцент **Гомон С.С.**,  
slavagomon@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3401-0760, h-index:1,к.т.н., доцент **Гомон П.С.**,  
p.s.homon@nuwm.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5312-0351, h-index:1,Національний університет водного господарства  
та природокористування, м. Рівне,**Верешко О.В.**, olegboremel@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7069-3397,  
Луцький національний технічний університет

## ДО ВИЗНАЧЕННЯ СІЧНОГО МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦІЙ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ МОДИФІКОВАНОЇ «СИЛОРОМ»

*Описано методику експериментальних досліджень клеєної деревини сосни першого сорту модифікованої «силором» за поверхневого методу модифікації на стиск вздовж волокон. Наведено конструкцію дослідних зразків для випробувань. Визначено час просочення полімерної композиції в тіло деревини, за якої зразок набирає максимальної міцності. Побудовані діаграми деформування модифікованої клеєної деревини сосни « $\sigma$ - $u_d$ » за м'якого режиму випробувань. Наведено метод визначення січного модуля деформацій клеєної деревини модифікованої «силором». Приведено основні параметри кореляційних рівнянь регресії.*

*Ключові слова: клеєна деревина; модифікована деревина; стиск; міцність; модуль деформацій; діаграми.*

**Постановка проблеми.** Органічне походження деревини є основною відмінністю від штучних композитів. Поєднанням органічних композитів з штучними в деяких випадках приводить до покращення фізико-механічних властивостей, як то збільшення міцності, зменшення деформативності та запобігає біологічному руйнуванню.

Застосування ж у будівництві клеєної деревини при зведенні будівель і споруд обґрунтовується високими техніко-технологічними показниками її властивостей як конструкційного матеріалу. Завдяки розосередженню та видаленню вад суцільної деревини в об'ємі шаруватої макробудови клеєної деревини покращується її якість і підвищується міцність. Із поширенням застосування в будівництві клеєної деревини виникає необхідність по тих, чи

інших причинах підсилення елементів конструкцій. На сьогодні існують різні методи підсилення, одні з них передбачають зміну конструктивної схеми, а інші - розвантаження конструкцій. Підсилення, за рахунок покращення фізико-механічних властивостей, ефективність якого нами вивчається, передбачає просочення деревини полімерною композицією «силор» [1,2].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Експериментальними та теоретичними дослідженнями суцільної клеєної деревини займалися такі вчені як Хрулев В.М. [3], Иванов Ю.М. [4], Фрейдин А.С. [5], Румянцев М.В. [6], Латынин А.В. [7] та ін.

Проблемами модифікації деревини, способами, які застосовують при її модифікації, займався велика кількість вчених. Серед них – Иванов Ю.М. [8], Хрулев В.М. [9], Машкин Н.А. [10], Шамаев В.А. [11], Сашин М.А. [12] та ін.

В останніх наших роботах [13,14] було досліджено міцнісні та деформативні параметри клеєної деревини модифікованої силором. Але при цьому не був визначений січний модуль деформацій за різного часу просочення полімерною композицією клеєної деревини.

**Постановка завдання.** Встановити вплив тривалості просочення клеєної деревини полімерною композицією «силор» на січний модуль деформативності модифікованої деревини.

**Викладення основного матеріалу.** Експериментальні дослідження проводилися на зразках розмірами 45x45x250 мм склеєних з дощок сосни товщиною  $25 \pm 0,1 \text{ мм}$ . Дощки були склеєні по пласту з використанням резорцинового клею Casco Silva, класу вологостійкості D3 відповідно EN 204/205. Вирізання зразків для серії випробувань проводили з однієї заздалегідь виготовленої балки з клеєної деревини. Прийнята довжина призм дала можливість уникнути впливу тертя між плитою преса та торцями зразків на міцність деревини.

Дощатоклеєні дерев'яні балки, з яких були вирізані зразки і використані в експериментальному дослідженні виготовлялися в заводських умовах зі струганих соснових дощок [1]. Сосна була вирощена в лісах Рівненської області. Висушування пиломатеріалів з деревини для виготовлення зразків проводилося на протязі дванадцяти місяців за нормальної вологості середовища в 60-70% та температури 18-21°C з доведенням до необхідної проектною вологості в 10...12% [2] у термокамері на протязі трьох наступних тижнів.

Перед просочуванням на бокові поверхні експериментальних зразків були наклеєні тензодатчики вздовж волокон – з базою 50 мм, поперек – з базою 20 мм (Рис.1).

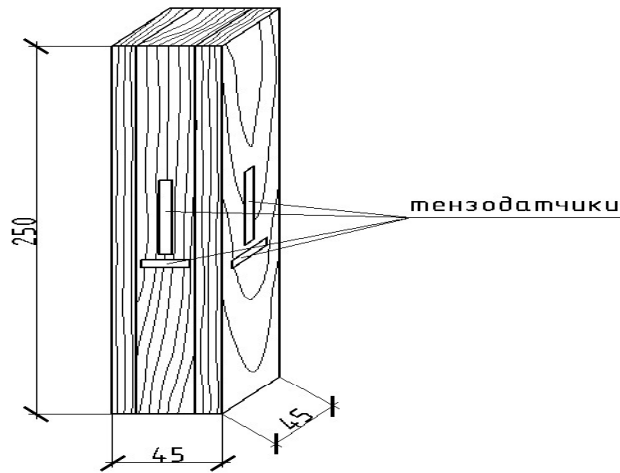


Рис.1. Геометричні розміри зразків та схема розташування тензодатчиків

Просочення дослідних зразків з клеєної деревини виконували за групами шляхом занурення в посудину із полімерною композицією: перша група ПС-15 на 15хв, друга - ПС-30 на 30хв, третя - ПС-60 - 60хв, четверта - ПС-120 - 120хв, п'ята - ПС-240 - 240хв, шоста - ПС-360 - 360хв та сьома - ПС-720 на 720хв. В кожній групі було по три зразки – близнюки, які просочували з заданою передбачуваною тривалістю. Проникнення полімерної композиції «силор» проходило природнім шляхом, без додаткового стимулювання, при повному зануренні в полімерний розчин [13,14].

**Результати досліджень.** Навантаження до зразків з модифікованої деревини прикладалось ступенями по 5 кН із постійним контролем розвитку деформацій. Після обробки отриманих експериментальних даних було побудовано графіки відносного деформування модифікованої деревини вздовж волокон в залежності від напружень (Рис.2).

Проведені експериментально-теоретичні дослідження показали, що за нелінійної залежності “напруження-деформації” ( $\sigma - u$ ) залежність “січний модуль деформацій - напруження” ( $E' - \sigma$ ) при стиску вздовж волокон модифікованої деревини з всіма заданими термінами тривалості просочення композитом “силор”, завантаженої з постійною швидкістю приросту навантаження на висхідній гілці діаграми, можна з великою достовірністю приймати лінійною у вигляді

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

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 статистичними методами різниці найменших квадратів;  $u_{pl,d}$  – пластичні деформації модифікованої

деревини вздовж волокон;  $u_{pl,d}$  – пружні деформації модифікованої деревини вздовж волокон;

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

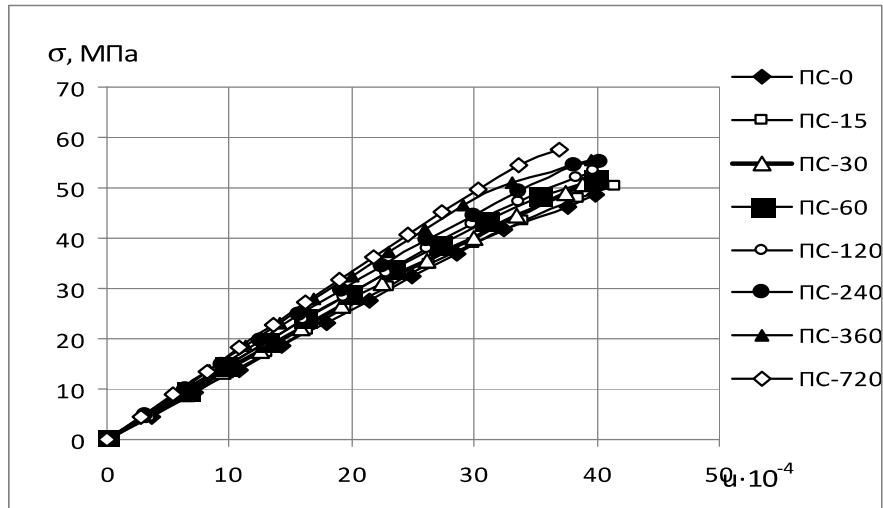


Рис.2. Діаграми деформування модифікованої деревини “ $\sigma$ - $u$ ” при роботі на стиск вздовж волокон

Експериментально-статистичні дослідження напружено-деформованого стану просочених “силором” призм з деревини конструкційних розмірів високою достовірністю підтвердили наявність лінійних кореляційних залежностей між січним модулем поздовжніх відносних деформацій і рівнем напружень (Рис.3 та Табл. 1). Лінійність залежностей  $E' - \eta$  підтверджується хорошим ступенем 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  $V = 1,51\%$ . При побудові залежності  $E' - \eta$

бралися дослідні точки в інтервалі напружень  $\eta = (0,2 \dots 0,8)$  згідно рекомендацій [15, 16].

Експериментальні дослідження було проведено на зразках конструкційних розмірів з об'ємом деревини  $506 \text{ см}^3$  при роботі за центрального стиску, що було не менше  $370 \text{ см}^3$ , за рекомендаціями Свеницького Г.В., Знаменського Е.М., Тутуріна С.В. [17, 18, 19].

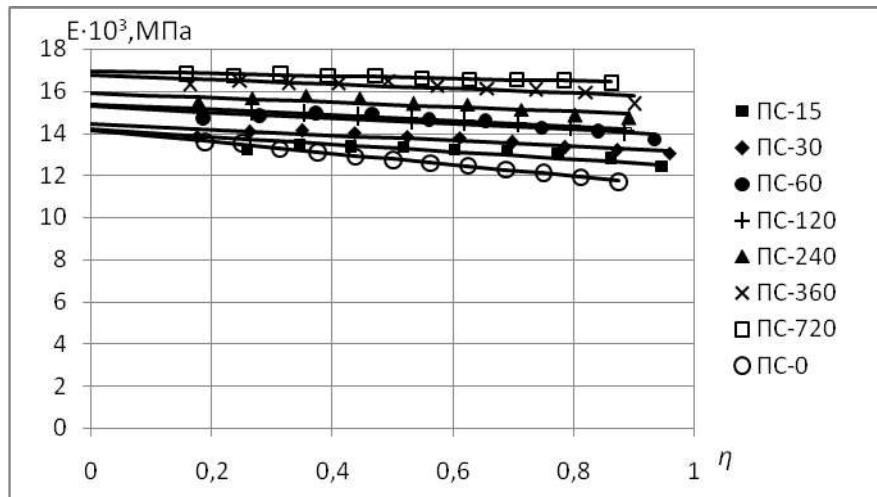


Рис.3. Діаграми  $E' - \eta$  (сичний модуль - рівень напружень) модифікованої деревини просоченої композитом «силор» за короткочасного стиску вздовж волокон

Таблиця 1

Основні параметри і статистики кореляційних рівнянь регресії

Назва зразка	Кореляційне рівняння	$r$	$m_r$	$r/m_r$	$V, \%$
ПС-0	$E' = 14,121 \cdot (1 - 0,068 \cdot \eta)$	0,998	0,001	734	0,27
ПС-15	$E' = 14,170 \cdot (1 - 0,035 \cdot \eta)$	0,828	0,105	8,0	1,51
ПС-30	$E' = 14,414 \cdot (1 - 0,025 \cdot \eta)$	0,840	0,057	16	1,04
ПС-60	$E' = 15,268 \cdot (1 - 0,027 \cdot \eta)$	0,859	0,088	10	1,36
ПС-120	$E' = 15,386 \cdot (1 - 0,025 \cdot \eta)$	0,982	0,011	77	0,92
ПС-240	$E' = 15,904 \cdot (1 - 0,020 \cdot \eta)$	0,819	0,104	8	1,21
ПС-360	$E' = 16,758 \cdot (1 - 0,019 \cdot \eta)$	0,830	0,099	8	0,99
ПС-720	$E' = 16,964 \cdot (1 - 0,010 \cdot \eta)$	0,960	0,025	39	0,22

**Висновки.** 1. На основі проведених експериментально-теоретичних досліджень були отримані нові дані про зміну величини модуля пружності модифікованої «силором» деревини під навантаженням. За допомогою статистичного методу різниці найменших квадратів встановлено, що залежність

зміни січного модуля деформацій  $E'$  від рівня напружень в деревині  $\eta$  є лінійною.

2. Встановлено, що при збільшенні терміну просочення полімерним композитом «силор» від 15 до 720 хвилин початковий модуль пружності модифікованої деревини постійно збільшується.

3. Встановлено, що при збільшенні рівня напружень  $\eta$  значення січного модуля  $E'$  модифікованої деревини поступово зменшується.

4. Необхідно продовжувати дослідження фізико-механічних характеристик модифікованої деревини за різних способів введення композита силор в деревину.

5. В подальшому необхідно також побудувати діаграми дійсної роботи суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі, зокрема, які модифіковані «силором», та оптимізувати основні міцнісні та деформативні параметри (міцність, модуль деформацій, граничні та критичні деформації).

### Список використаних джерел

1. ГОСТ 23551-79. Древесное сырье для изготовления модифицированной древесины. Технические условия. М.: Стройиздат.- 1979 – 15с.
2. ГОСТ 24329-80. Древесина модифицированная. Способы модифицирования. М.: Стройиздат.- 1980 – 16с.
3. Хрулев В.М. Долговечность клееной древесины: научное пособие. Москва: Стройиздат, 1971. 112 с.
4. Иванов Ю.М. Прочность и напряжения клеевых соединений древесины: монография. Москва: Лесная промышленность, 1973. 210 с.
5. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых содинений: научное пособие. Москва: Химия, 1981. – 272 с.
6. Румянцев М.В. Определение показателей оценки качества клееной древесины с учетом дефектов склеивания: дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Архангельск, 2002. 176 с.
7. Латынин А.В. Создание клеевых соединений древесины повышенной прочности: дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Воронеж, 2015. 134 с.
8. Иванов Ю.М. О физико-механических испытаниях модифицированной древесины. Пластификация и модификация древесины. Рига, 1970. С.17-25.
9. Хрулев В.М. Модифицированная древесина в строительстве: научное пособие. Москва: Стройиздат, 1986. 112 с.
10. Машкин Н.В. Эксплуатационная стойкость модифицированной древесины в строительных изделиях и ее технологическое обеспечение: дисс. ... докт. техн. наук: 05.23.05 / Новосибирск, 2000. 366 с.

11. Шамаев В.А. Химико-механическое модифицирование древесины: монография. Москва, 2003. 260 с.
12. Сашин М.А. Прогнозирование и повышение долговечности и длительной прочности древесины в строительных изделиях и конструкциях: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Тамбов, 2006. 182 с.
13. Гомон С.С., Гомон С.С., Зінчук А.В. Дослідження модифікованої силором клеєної деревини на стиск вздовж волокон. Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вісті Донецького гірничого інституту”. Покровськ: ДВНЗ “Донецький НТУ”, 2017. №1(40). С. 134-138.
14. Гомон С.С., Гомон С.С. Зінчук А.В. Деформативність модифікованої силором клеєної деревини за роботи на стиск вздовж волокон. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2017. Випуск 36. С. 111-117.
15. Макаренко Л.П., Фенко Г.А. Практический способ определения модуля упругости упруго-пластических характеристик бетона при сжатии. Известия вузов. Строительство и архитектура. 1970. №10. С. 141-147.
16. Битько Н.М., Кузнецова О.В., Бойко В.В. Экспериментально-статистические исследования секущего модуля деформаций песчаного бетона при длительном центральном сжатии нагрузкой различной интенсивности. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2017. Випуск 34. С. 95-102.
17. Свенцицкий Г.В. О пределе пластического течения при поперечном изгибе и при сжатии с изгибом. Сборник ЦНИПС. Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций. 1952. С. 69 – 74.
18. Знаменский Е.М. Несущая способность элементов деревянных конструкций при статическом и динамическом нагружении. Москва, 1956.
19. Тутурин С.В. Механическая прочность древесины: дис. ... докт. техн. наук: 01.02.04. Москва, 2005. 318 с.

к.т.н., профессор Гомон С.С., к.т.н., доцент Гомон С.С.,  
к.т.н., доцент Гомон П.С., Национальный университет водного  
хозяйства и природоиспользования, г. Ровно,  
Верешко О.В., Луцкий национальный технический университет

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕКУЩЕГО МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ МОДИФИЦИРОВАННОЙ «СИЛОРОМ»**

Описана методика экспериментальных исследований клееной древесины сосны первого сорта модифицированной «силором» за поверхностного метода

модификации на сжатие вдоль волокон. Приведены конструкции опытных образцов для испытаний. Определено время пропитки полимерной композиции в тело древесины, при которой образец набирает максимальной прочности. Построены диаграммы деформирования модифицированной клееной древесины сосны « $\sigma$ - $\epsilon$ » по мягкому режиму испытаний. Приведен метод определения секущего модуля деформаций клееной древесины модифицированной «силором». Экспериментально-статистические исследования напряженно-деформированного состояния призм из древесины конструкционных размеров пропитанных "силором" с высокой достоверностью подтвердили наличие линейных корреляционных зависимостей между секущими модулем продольных относительных деформаций и уровнем напряжений. Линейность зависимостей подтверждается хорошей степенью соответствия корреляционных и опытных значений деформаций: абсолютная величина коэффициента корреляции  $r$  близка к единице, ее достоверность  $r / m$  всегда больше четырех, наибольшее значение вариационного коэффициента отношений составило  $V = 1,51\%$ . При построении зависимости брались исследовательские точки в интервале напряжений  $\eta=(0,2\dots0,8)$  согласно рекомендациям. Построены диаграммы (секущий модуль - уровень напряжений) модифицированной древесины пропитанной композитом «силор» по кратковременному сжатию вдоль волокон. Приведены основные параметры корреляционных уравнений регрессии. Установлено, что при увеличении уровня напряжений  $\eta$  значение секущего модуля модифицированной древесины постепенно уменьшается.

Ключевые слова: клееная древесина; модифицированная древесина; сжатие; прочность; модуль деформаций; диаграммы.

candidate of technical sciences, professor Gomon Svyatoslav,  
candidate of technical sciences, associate professor Gomon Svyatoslav,  
candidate of technical sciences, associate professor Gomon Petro,  
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne,  
senior lecturer Vereshko Oleg, Lutsk National Technical University

## **DEFINITION OF A SECOND MODULE FOR DECOMPOSITIONS OF GLUED WOOD MODIFIED BY SILOR**

The methodology of the experimental studies of the glued first grade pine wood modified by «silor» with the surface method for compression along the fibers is described. Construction of given samples for testing was shown. The time of impregnation of the polymer composition into the body of wood is determined, at



which the sample gains maximum strength. Deformation modified glued pine wood diagrams « $\sigma_d-u_d$ » under mild test mode are built. Method of determination of cutting module deformation of glued wood modified with «silor». Experimental and statistical studies about stress-strain state of impregnated with «silor» prisms that were made of timber of structural dimensions with high accuracy confirmed the presence of linear correlation dependences between the cutting module of longitudinal relative deformations and the level of stresses. Linearity of dependencies is confirmed by a good level of correspondence of correlation and experimental values of deformations: the absolute value of the correlation coefficient  $r$  is close to one, its authenticity  $r/m_r$  is always more than four, the highest number of the variation coefficient of correlation was  $V = 1,51\%$ . During the construction dependence experimental points were taken in the stress range  $\eta = (0,2 \dots 0,8)$  as recommended. Diagrams (cutting module - the level of stresses) modified wood impregnated with «silor» composite with short-term compression along the fibers were built. The basic parameters of correlation equations are shown. It is established that as the stress level  $\eta$  increases, the value of the cutting module of the modified wood gradually decreases. The plan of further researches is resulted.

Keywords: glued wood; modified wood; compression; strength; module for decomposition; diagrams.

## REFERENCES

1. GOST 23551-79. Drevesnoye syr'ye dlya izgotovleniya modifitsirovannoy drevesiny. Tekhnicheskiye usloviya. M.: Stroyizdat.- 1979 – 15s. {in Russian}.
2. GOST 24329-80. Drevesina modifitsirovannaya. Sposoby modifitsirovaniya. M.: Stroyizdat.- 1980 – 16 s. {in Russian}.
3. Khrulev V.M. Dolgovechnost' kleyenoy drevesiny: nauchnoye posobiye. Moskva: Stroyizdat, 1971. 112 s. {in Russian}.
4. Ivanov Yu.M. Prochnost' i napryazheniya kleyevykh soyedineniy drevesiny: monografiya. Moskva: Lesnaya promyshlennost', 1973. 210 s. {in Russian}.
5. Freydin A.S. Prochnost' i dolgovechnost' kleyevykh sodineniy: nauchnoye posobiye. Moskva: Khimiya, 1981. – 272 s. {in Russian}.
6. Rumyantsev M.V. Opredeleniye pokazateley otsenki kachestva kleyenoy drevesiny s uchetom defektov skleivaniya: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.05. Arkhangel'sk, 2002. 176 s. {in Russian}.
7. Latynin A.V. Sozdaniye kleyevykh soyedineniy drevesiny povyshennoy prochnosti: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.21.05. Voronezh, 2015. 134 s. {in Russian}.

8. Ivanov YU.M. O fiziko-mekhanicheskikh ispytaniyakh modifitsirovannoy drevesiny. Plastifikatsiya i modifikatsiya drevesiny. Riga, 1970. S.17-25. {in Russian}.
9. Khrulev V.M. Modifitsirovannaya drevesina v stroitel'stve: nauchnoye posobiye. Moskva: Stroyizdat, 1986. 112 s. {in Russian}.
10. Mashkin N.V. Ekspluatatsionnaya stoykost' modifitsirovannoy drevesiny v stroitel'nykh izdeliyakh i yeye tekhnologicheskoye obespecheniye: diss. ... dokt. tekhn. nauk: 05.23.05 / Novosibirsk, 2000. 366 s. {in Russian}.
11. Shamayev V.A. Khimiko-mekhanicheskoye modifitsirovaniye drevesiny: monografiya. Moskva, 2003. 260 s. {in Russian}.
12. Sashin M.A. Prognoziroaniye i povysheniye dolgovechnosti i dlitel'noy prochnosti drevesiny v stroitel'nykh izdeliyakh i konstruktsiyakh: diss. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05 / Tambov, 2006. 182 s. {in Russian}.
13. Gomon S.S., Gomon S.S., Zinchuk A.V. Doslidzhennya modyfikovanoyi sylorom kleyenoyi derevyny na stysku z vykorystanniam volokon. Vseukrayinskyy naukovo-tekhnichnyy zhurnal "Visti Donetskoho hirnychoho instytutu". Pokrovsk: DVNZ «Donents'ky NTU», 2017. №1 (40). S. 134-138. {in Ukrainian}.
14. Gomon S.S., Gomon S.S., Zinchuk A.V. Deformatyvnist' modyfikovanoyi sylorom kleyevoyi derevyny dlya roboty na styli z vykorystanniam volokon. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2017. S. 111-117. {in Ukrainian}.
15. Makarenko L.P., Fenko G.A. Prakticheskiy sposob opredeleniya modulya uprugosti uprugo-plasticheskikh kharakteristik betona pri szhatii. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 1970. №10. S. 141-147. {in Russian}.
16. Bit'ko N.M., Kuznetsova O.V., Boyko V.V. Eksperimental'no-statisticheskoye issledovaniya sekushchego modulya deformatsiy peschanogo betona pri dlitel'nom tsentral'nom szhatii nagruzkoy razlichnoy intensivnosti. Resursoyekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne: NUVGP, 2017. Vipusk 34. S. 95-102. {in Russian}.
17. Svetsitskiy G.V. O predele plasticheskogo techeniya pri poperechnom izgibe i pri szhatii s izgibom. Sbornik TSNIPS. Voprosy prochnosti i izgotovleniya derevyannykh konstruktsiy. 1952. S. 69 – 74. {in Russian}.
18. Znamenskiy Ye.M. Nesushchaya sposobnost' elementov derevyannykh konstruktsiy pri staticheskom i dinamicheskom nagruzhennii. Moskva, 1956. {in Russian}.
19. Tuturin S.V. Mekhanicheskaya prochnost' drevesiny: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 01.02.04. Moskva, 2005. 318 s. {in Russian}.