

**М'якуш Б.М.,  
Кшивецький Б.Я.**  
Національний лісотехнічний університет України,  
м. Львів, Україна,  
E-mail: kshivby@ukr.net

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ ТРИШАРОВОЇ ПАРКЕТНОЇ ДОШКИ

УДК 674.213:69.025.351.3:678.073

Проаналізовано конструкційні матеріали з яких виготовлена тришарова паркетна дошка та вплив температури на її формостійкість. Побудовано графічні залежності формостійкості тришарової паркетної дошки залежно від зміни температури, здійснено їх аналіз. Встановлено закономірності формостійкості тришарової паркетної дошки склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями залежно від зміни температури.

**Ключові слова:** тришарова паркетна дошка, формостійкість, напружено - деформаційний стан, математична модель, графічні залежності, клей, деревина.

### Вступ

Тришарову паркетну дошку розглядають як конструкцію, що складається з деревини та клею. Тому, фізико-механічні та фізико-хімічні властивості цих матеріалів матимуть вплив на процеси формування клейового з'єднання, адгезійну і когезійну міцність та показники якості паркетної дошки під час експлуатації. До основних показників якості паркетної дошки відносять і її формостійкість. Зміна формостійкості паркетної дошки під час експлуатації може призвести до її руйнування [1].

Деревина це природний полімерний матеріал клітино-волоконистої будови, що характеризується певними фізичними, механічними, реологічними та хімічними властивостями. Дані властивості в певній мірі будуть впливати на формостійкість тришарової паркетної дошки під час експлуатації. Більш значимий вплив на формостійкість паркетної дошки матимуть ті властивості деревини, які зв'язані з процесами формування клейового шва та його експлуатаційними характеристиками [2, 3].

Клеї – це речовини або суміші речовин органічного або неорганічного походження, які внаслідок характерним їм специфічним властивостям можуть за певних умов утворювати міцні з'єднання різних матеріалів. Клеї, які використовуються для склеювання паркетної дошки можуть пришвидшувати або сповільнювати деформаційні процеси у паркетній дошці під час експлуатації, тим самим змінювати її формостійкість. Це залежатиме від структури сформованого клейового шва. Термореактивні клеї формують сітчасту структуру клейового шва. Тобто таке клейове з'єднання є волого- і теплостійким, але крихким. Крихкість клейового шва призводитиме до пришвидшення деформаційних процесів у паркетній дошці під час експлуатації, тим самим впливатиме на зміну її формостійкості. Термопластичні клеї формують лінійну, або рідкосітчасту структуру клейового шва. Тобто, такий клейовий шов не забезпечує високої волого- і теплостійкості клейовим з'єднанням, але є еластичним. Еластичний клейовий шов зможе компенсувати деформаційні процеси у паркетній дошці, тим самим зберігати її формостійкість. Тому, для склеювання деревини при виготовленні тришарової паркетної дошки доцільніше використовувати термопластичні, а саме полівінілацетатні клеї із рідкосітчастою структурою клейового шва. Це дозволить отримати з'єднання деревини з певною еластичністю клейового шва та одночасно забезпечити йому ступінь навантаження D3 або D4 у відповідності з європейським стандартом DIN EN 204:2001 [4, 5].

Під час експлуатації тришарова паркетна дошка буде піддаватись дії різного роду зовнішнім факторам, що впливатимуть на зміну їх формостійкості. Основними серед яких є: температура, волога і вода та навантаження, які несе паркетна дошка під час експлуатації. Кожен з даних факторів по своєму впливатиме на паркетну дошку та її формостійкості, що в кінцевому результаті може призвести до її руйнування [1, 7].

У даній публікації розглянемо дію температури на паркетну дошку під час експлуатації. При зміні температури міцність деревини і клейового шва буде змінюватись неоднаково. Міцність деревини зменшується лінійно із підвищенням температури. При цьому швидкість даного зменшення залежить від породи деревини (в листяних породах – більша), щільності, вмісту смоляних речовин тощо. При температурі вище температури 200 °C відбуватимуться процеси термічного розкладання деревини. При підвищеній температурі у полівінілацетатному клейовому шві збільшуватиметься тепловий рух, за рахунок чого макромолекули будуть більш гнучкішими. Це може призвести до зміни конформації макромолекул та її переходу з однієї рівноважної форми в іншу. Внаслідок різкого підвищення температури, як в деревині так і в клейовому шві розвиваються термічні напруження, які спричинені різницею коефіцієнтів термічного розширення деревини і клею. При досягненні критичних значень в клейовому з'єднанні поведуться тріщини, які можуть призвести до зміни напружено - деформаційного стану і в кінцевому

результаті до зміни формостійкості самої паркетної дошки. Проте, негативний вплив на формостійкість паркетної дошки матимуть не тільки критичні значення температур, а й їх коливання, навіть якщо вони відбуваються в межах, допустимих для даного клейового з'єднання [8].

Тому, для детального вивчення формостійкості тришарової паркетної дошки склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями залежно від зміни температури необхідно дослідити її напружено-деформаційний стан. Для цього пропонується використати методи математичного та імітаційного моделювання.

### Мета і постановка задачі

Метою даної роботи є дослідження формостійкості тришарової паркетної дошки склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями за допомогою математичного та імітаційного моделювання залежно від зміни температури.

### Виклад основного матеріалу

При математичному та імітаційному моделюванні формостійкості, паркетну дошку розглядали як тришарову структуру, яка складається із верхнього лицевого шару, середнього компенсаційного шару та нижнього шару – основи. Вхідними параметрами при моделюванні формостійкості тришарової паркетної дошки були фізико-механічні характеристики матеріалу кожного шару, її геометричні розміри та основні показники, які характеризують термопластичну полівінілацетатну клейову композицію.

Лицевий шар паркетної дошки виготовляють із твердолистяних порід деревини. Даний шар відіграє важливу роль, оскільки забезпечує паркетній дошці декоративні властивості та якісні показники під час експлуатації. При дослідженні формостійкості тришарової паркетної дошки верхнім лицевим шаром обрано деревину твердолистяної породи – дуб. Дана порода деревини характеризується певними фізико-механічними властивостями. При моделюванні напружено-деформаційного стану паркетної дошки враховували умовну густину, яка становить  $\rho=680 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнти теплопровідності в напрямку анізотропії, які становитимуть  $\lambda_x = 0,17 \text{ Втм}^{-1}$  та  $\lambda_y = 0,176 \text{ Втм}^{-1}$ . Крім того, враховувались геометричні розміри верхнього шару, які відповідали вимогам стандарту і становили: довжина – 250 мм, ширина 95 мм, товщина – 5 мм.

Другий середній шар, компенсаційний. Для даного шару використовують деревину хвойних порід. При моделюванні формостійкості обрано деревину породи – сосна. Для даної породи деревини враховували умовну густину, яка становить  $\rho = 520 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт теплопровідності в напрямку анізотропії  $\lambda_x = 0,11 \text{ Втм}^{-1}$  та  $\lambda_y = 0,08 \text{ Втм}^{-1}$ . Геометричні розміри становили: довжина – 250 мм, ширина 26 мм, товщина – 9 мм, та відповідали вимогам стандарту.

Третій нижній шар, основа. Як правило даний шар виготовляють із деревини волокнистої плити, або фанери. Для моделювання обрано фанеру, яка виготовлена з деревини листяної породи - берези. Для даної породи деревини враховували умовну густину, яка становить  $\rho = 650 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт теплопровідності в напрямку анізотропії  $\lambda_x = 0,16 \text{ Втм}^{-1}$  та  $\lambda_y = 0,151 \text{ Втм}^{-1}$ . Геометричні розміри: довжина – 250 мм, ширина 95 мм, товщина – 4 мм, що також відповідали вимогам стандарту.

Для склеювання використовували термопластичні полівінілацетатні клеї із ступенем навантаження D3, відповідно до європейського стандарту. Дана клейова композиція характеризується наступними властивостями: в'язкість клею – 9,0 мПа с. (Брукфільд); вміст сухого залишку – 51 %; щільність –  $1,06 \text{ г/см}^3$ ; водневий показник (рН) – 5.

Для математичного та імітаційного моделювання впливу температури на формостійкість тришарової паркетної дошки використано програмне забезпечення інтегральних CAD/CAE систем, а саме "SolidWorks" та "COSMOSWorks".

На рис. 1 наведено візуалізацію деформацій елемента  $\epsilon_x$  досліджуваної конструкції, а на рис. 2 їх графічні залежності за температури 40 °С.

Як видно з рис. 1 та 2 компоненти напружень  $\epsilon_x$  мінімальне значення досягаються в третьому шарі, тобто в основі конструкції, яка виготовлена з фанери. Максимальне значення напружень  $\epsilon_x$  досягаються в другому шарі, тобто в середньому компенсаційному шарі. Однак перший шар характеризується найменшими деформаціями, особливо середина характеризується мінімальним значенням деформації. Тобто найбільші напруження у тришаровій конструкції спостерігаються у середньому компенсаційному шарі, який виготовлений із породи хвойних порід деревини та з'єднаний між собою з іншими шарами за допомогою термопластичних полівінілацетатних клеїв. Такий розподіл напружень позитивно впливатиме на формостійкість паркетної дошки, оскільки саме середній шар відіграє роль компенсатора напружень. Важливе значення має і рідкісчаста структура клейового шва, яка за допомогою його



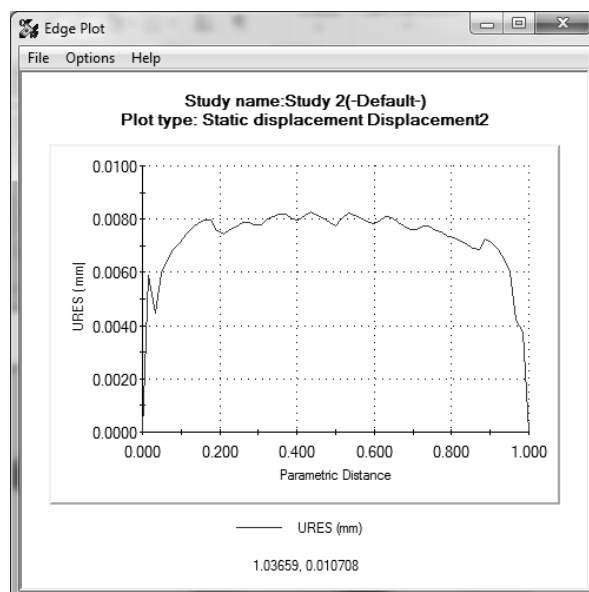


Рис. 4 – Залежності зміни деформацій  $\sigma_y$  тришарової паркетної дошки за температури 40 °C

На рис. 5 наведені значення нормальних напружень дослідницької конструкції, які також візуалізовано в кожному елементі розбиття області.

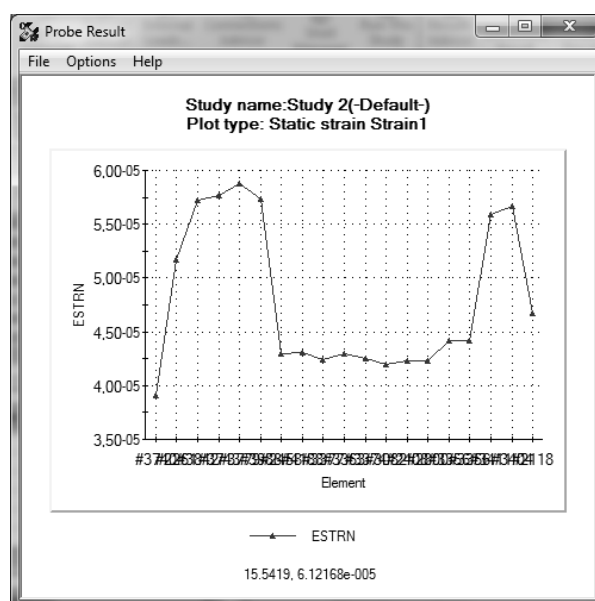


Рис. 5 – Нормальні напруження дослідницької конструкції за температури 40 °C

Максимальне напруження досягається у приповерхневих зонах першого і третього шарів. Мінімальне напруження спостерігається у другому шарі конструкції. У першому і третьому шарах елементів спостерігається ріст нормальних напружень, а у другому шарі спостерігається спадання нормальних напружень.

Другий шар характеризується рівномірним розподілом нормальних напружень, які зумовлені впливом клейових шарів. Однак розподіл деформацій у поперечному перетині конструкції є нерівномірним, оскільки спостерігається зменшення деформацій у приповерхневих шарах конструкції і стабілізація деформацій у другому шарі конструкції.

Однак зменшення жорсткості матеріалу другого шару зумовлене сповільнення зростання напружень у цьому шарі. Збільшення жорсткості першого шару зумовлене суттєвим зростанням напружень у ньому в порівнянні із середнім шаром.

Також дано критерій міцності за Мізесом. Аналогічні значення відбуваються при рівному розподілі міцності незважаючи на різні характеристики компонентів деформації в різних шарах, що зумовлене наявністю впливу термопластичного клею.

Отримані моделі та графічні залежності зміни компонент напружень  $\epsilon_x$  та  $\epsilon_y$  при температурі 40 °С дозволяють проаналізувати вплив температури на напружено-деформаційний стан тришарової паркетної дошки під час її експлуатації. Як показав аналіз отриманих залежностей кожен із шарів, з яких сформована паркетна дошка по різному реагуватимуть на підвищення температури. Основне навантаження нестиме середній (компенсаційний шар), який виготовлений із деревини хвойних порід. Саме даний шар і визнаватиме формостійкість паркетної дошки під час експлуатації. Важливе значення для даного шару матиме і клей, яким склеєні складові елементи даного шару. Клейове з'єднання на основі термопластичних полівінілацетатних клеїв, яке є еластичним, за рахунок рідкосітчастої структури клейового шва, частково компенсуватиме напруження у верхньому та нижніх шарах паркетної дошки під час дії температури. Це позитивно впливатиме на формостійкість паркетної дошки під час експлуатації.

### Висновки

За допомогою математичного та імітаційного моделювання досліджено формостійкість тришарової паркетної дошки склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із ступенем навантаження D3. Встановлено, що формостійкість тришарової дошки, залежно від температури змінюється по різному у кожному шарі паркетної дошки. Напружено - деформаційний стан, при дії температури зростає у першому і третьому шарах. У середньому компенсаційному шарі напружено - деформаційний стан зменшується.

### Література

1. М'якуш Б.М. Аналіз конструкцій та формостійкості паркетної дошки / Б.М. М'якуш // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.13. – С. 135-138.
2. Фрейдин А. С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А. С. Фрейдин. – М. : Химия, 1971. – 256 с.
3. Вінтонів І. Деревинознавство: навч. посіб. / І. Вінтонів, І. Сопушинський, А. Тайшінгер. – 2-е вид., доповн. – Львів: Априорі, 2007. – 321 с.
4. Зигельбойм С.Н. Термопластичные клеи в производстве мебели / С.Н. Зигельбойм – М.: Лесная промышленность, 1978. – 104 с.
5. Кардашов Д.А. Синтетические клеи / Д.А. Кардашов. – изд. 3-е., перераб. и доп. – М.: Химия, 1976. – 504 с.
6. М'якуш Б.М. Перспективи застосування термопластичних клеїв при виготовленні паркетної дошки / Б.М. М'якуш // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.3. – С. 91-93.
7. М'якуш Б.М. Математичне моделювання формостійкості паркетної дошки склеєної термопластичними клеями / Б.М. М'якуш, Б.Я. Кшивецький // Проблеми трибології: міжнародний науковий журнал. – Хмельницький НУ. – 2016. – № 1. – С. 42-47.
8. Кшивецький Б. Я. Вплив температури на механізм формування та руйнування термопластичних клейових з'єднань деревини / Б. Я. Кшивецький, Л. В. Салапак // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.4. – С. 144-148.

Поступила в редакцію 20.09.2016

Myakush B.M, Kshyvetsky B.Y. **The effect of temperature on shape stability of three-layer parquet boards.**

During operation, parquet board is exposed to various kinds of external factors that will influence its shape stability. Some major factors among them are temperature, moisture, and load that a parquet board takes during operation. Each of these factors will affect the shape stability in different ways, but long-term or their combined action can lead to change in its properties or destruction of the floorboard. Therefore, studying the influence of moisture, temperature, and load on the shape stability of parquet board is of great importance

In our study of shape stability, the three-layer parquet board is considered as a construction made from wood and adhesive. Software of integrated CAD/CAE systems was used for mathematical modeling and simulation of temperature influence on shape stability of three-layer parquet boards, while the output parameters were physical and mechanical properties of the wood and adhesive and the geometry of the specimen. These properties may change during operation, so they are determinative for the shape stability of the parquet board.

Based on the visualization and graphic curves of deformation  $\sigma_x$  and  $\sigma_y$  of the study construction of the parquet board depending on the temperature change, it was found that the maximum stress is achieved in the near-surface regions of the first and third layers of the board. The minimum stress is observed in the second layer of the structure. In the first and third layers of elements, the rise of normal stresses is observed, while the second layer experiences a decrease in normal stresses. The second layer is characterized by a uniform distribution of normal stresses, which is caused by the influence of the adhesive layers. However, the strain distribution in the cross section of the structure is nonuniform, since a decrease of deformations in the near-surface layers of the construction occurs and stabilization of the deformation in the second layer of the structure is observed. The reduced stiffness of the material of the second layer is due to the slowdown in the growth of stresses in that layer. The increase in stiffness of the first layer is due to a significant increase of stresses in it compared to the middle layer

The results of the analysis found that the shape stability of three-layer boards, depending on the temperature, changes differently. The main load will be taken by the middle layer of the parquet board, which will have a significant impact on the shape stability of the floorboard during operation.

**Keywords:** three-layer parquet board, shape stability, stress-strain state, mathematical model, graphic curves, adhesive, wood.

## References

1. Miakush B.M. Analiz konstruktsiy ta formostiikosti parketnoi doshky /B.M. Miakush. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy: zb. nauk-tekhn. prats. Lviv: RVV NLTU Ukrainy. 2010. Vyp. 20.13. S. 135-138.
2. Freidin A. S. Prochnost i dolgovechnost kleevykh soedyneniy. A.S. Freidin. M.: Khimiia, 1971. 256 s.
3. Vintoniv I. Derevynoznavstvo: navch. posib. I. Vintoniv, I. Sopushynskyi, A. Taishinher. 2-e vyd., dopovn. Lviv: Apriori, 2007. 321 s.
4. Zigelboim S.N. Termoplastichnye klei v proizvodstve mebeli. S.N. Zigelboim. M.: Lesnaia promyshlennost, 1978. 104 s.
5. Kardashov D.A. Sinteticheskie klei. D.A. Kardashov. izd. 3-e., pererab. i dop. M.: Khimiia, 1976. 504 s.
6. Miakush B.M. Perspektyvy zastosuvannya termoplastychnykh kleiv pry vyhotovlenni parketnoi doshky. B.M. Miakush. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy: zb. nauk- tekhn. prats. Lviv: RVV NLTU Ukrainy. 2010. Vyp. 20.3. S.91-93.
7. Miakush B.M. Matematyчне modeliuвання формостійкості паркетної дошки склеєної термoplastychnymi kleiamy. B.M. Miakush, Kshyvetsky B.Ya. Problemy trybolohii: mizhnarodnyi naukovyi zhurnal. Khmelnytskyi NU. 2016. № 1. S. 42-47.
8. Kshyvetsky B. Ya. Vplyv temperatury na mekhanizm formuvannya ta Ruinuvannya termoplastychnykh kleiovykh ziednan derevyny. B. Ya. Kshyvetsky, L. V. Salapak. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy: zb. nauk-tekhn. prats. Lviv: RVV NLTU Ukrainy. 2012. Vyp. 22.4. S. 144-148.