

Кшивецький Б.Я.Національний лісотехнічний університет,
м. Львів, Україна**ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ КЛЕЙОВИХ
З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ
МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ****Вступ**

Значна роль у розвитку деревообробної галузі лісопереробного комплексу країни належить клеям та процесам склеювання, які забезпечують високі показники якості та надійності продукції, дозволяють раціонально використовувати деревину та деревинні матеріали, інтенсифікувати технологічні процеси склеювання, тощо. За останні роки збільшився випуск та використання термопластичних клеїв, оскільки саме за допомогою таких клеїв та з'єднань на їх основі можна забезпечити екологічні, технологічні, економічні та експлуатаційні вимоги сучасного виробництва.

Експлуатаційні вимоги термопластичних клейових з'єднань забезпечуються відповідною довговічністю, яка характеризується зміною напружено-деформаційного стану склеєної деревини під час експлуатації.

Існуючі на сьогоднішній день методи та методики прогнозування міцності і довговічності використовуються для термоактивних клейових з'єднань і зводяться до феноменологічних розрахунків. Прогнозувати міцність і довговічність для термопластичних клейових з'єднань деревини, за даними методами і методиками неможливо, оскільки терморезистивні та термопластичні клеї мають різні механізми як формування так і руйнування клейових з'єднань деревини.

Постановка проблеми

Результати довговічності, які отримані шляхом їх прогнозування за допомогою математичної моделі, дають можливість вирішувати існуючі проблеми сучасного деревообробного виробництва, а саме: рекомендувати умови та визначати терміни експлуатації клейових з'єднань, модифікувати клеї з врахуванням фізико-механічних процесів, що проходять у клейовому з'єднанні при експлуатації, розробляти клеї з наперед заданими властивостями, економити сировину, забезпечувати екологічність виробам, утилізувати відходи, тощо.

Тому, прогнозування довговічності за допомогою математичної моделі для термопластичних клейових з'єднань деревини є актуальним. Математична модель для прогнозування довговічності була побудована на основі досліджень фізико-хімічних процесів у термопластичних клейових з'єднаннях деревини при циклічній дії вологості і температури, які наведені у публікаціях [1, 2], та моделювання напружено-деформаційного стану у термопластичних клейових з'єднань деревини [6, 7].

За допомогою математичної моделі здійснено прогнозування та проаналізовано впливу вологості та температури навколишнього середовища на довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини дуба.

Виклад основного матеріалу

На основі моделювання вологоперенесення, тепломасоперенесення та напружено-деформаційного стану у термопластичних клейових з'єднаннях деревини побудовано математичну модель прогнозування довговічності для термопластичних клейових з'єднань деревини [3, 4, 5], яка має наступний вигляд:

$$\tau = \frac{1}{C} \cdot \ln \left(\frac{B \cdot W}{\sigma_{гран.} + A \cdot T} \right), \quad (1)$$

де τ – довговічність, дів;

$\sigma_{гран.}$ – мінімальна гранична міцність з'єднання, яка становить 0,5 МПа;

A, B, C – коефіцієнти апроксимації;

T – температура навколишнього середовища, °C;

W – вологість навколишнього середовища, %;

Значення граничної міцності $\sigma_{гран.} = 0,5$ МПа було встановлено експериментально за признаками появи перших ознак розшарування. Ці ознаки виникають тоді, коли міцність клейового з'єднання на будь-якій ділянці знижується до нуля.

З врахуванням числових значень коефіцієнтів апроксимації для клейових з'єднань деревини дуба математична модель матиме наступний вигляд:

- для структурованих клеїв, із рідкосітчастою структурою клейового шва:

$$\tau = \frac{1}{0,00205} \cdot \ln \left(\frac{0,1151 \cdot W}{\sigma_{гран.} + 0,024 \cdot T} \right); \quad (2)$$

- для неструктурованих клеїв, із лінійною структурою клейового шва:

$$\tau = \frac{1}{0,0082} \cdot \ln \left(\frac{0,1372 \cdot W}{\sigma_{гран.} + 0,0006 \cdot T} \right). \quad (3)$$

За запропонованою математичною моделлю (2, 3), з врахуванням числових значень коефіцієнтів апроксимації, задаючись ступенем навантаження з'єднань (D1-D4 згідно європейського стандарту EN204), температурою та вологістю навколишнього середовища можна прогнозувати довговічність для структурованих і неструктурованих термопластичних з'єднань деревини дуба.

Достовірність математичної моделі підтверджена порівняльним аналізом результатів прогнозування міцності для термопластичних клейових з'єднань деревини дуба, отриманих за допомогою математичної моделі з результатами тривалих експериментальних досліджень деревини дуба [8].

За допомогою математичної моделі здійснено прогнозування, та досліджено вплив вологості і температури навколишнього середовища на довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини дуб. Для прогнозування довговічності, середньозважену вологість і температуру навколишнього середовища брали за період проведення тривалих експериментальних досліджень.

На рис. 1 і 2 наведена графічна інтерпретація результатів прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини дуба, яка отримана за математичною моделлю.

Як видно з рис. 1 при середньозваженій температурі навколишнього середовища +4,19 °C та середньозваженій вологості 66,46 % довговічність становить 1260 діб. При збільшенні вологості до 93,91 % при даній температурі довговічність збільшується до 1441 діб, тобто на 181добу або на 14 %.

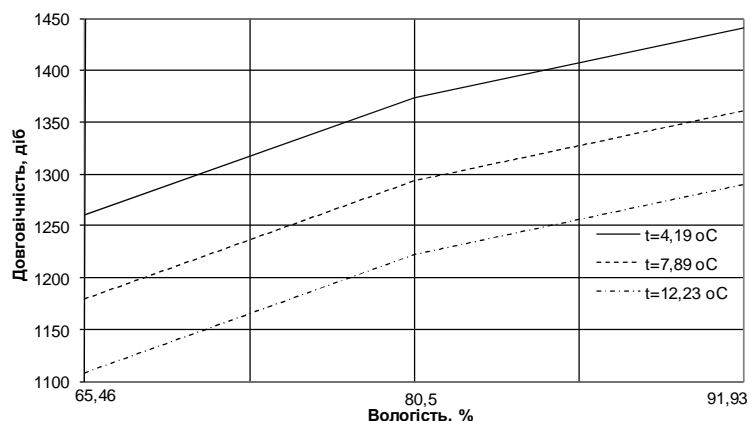


Рис. 1 – Прогнозування довговічності клеївих з'єднань деревини дуба склеєних структурованими клеями із ступенем навантаження D4 від зміни вологості

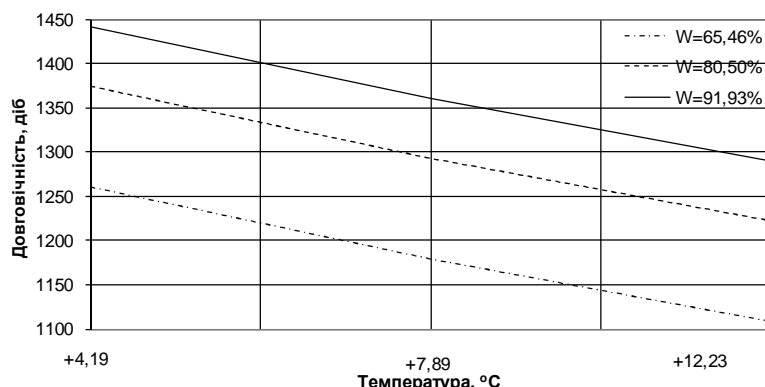


Рис. 2 – Прогнозування довговічності клеївих з'єднань деревини дуба склеєних структурованими клеями із ступенем навантаження D4 від зміни температури

Аналогічна картина спостерігається і для середньозважених температур +7,89 °C та 12,23 °C, за яких довговічність теж зростає на 181 і 172 діб відповідно. Тобто, із збільшенням вологості від 65 % до 92 % довговічність зростає в середньому на 14 % незалежно від температури експлуатації.

Вплив температури на довговічність показана на рис. 2. При середньозваженій температурі + 4,19 °С і вологості 66,46 % довговічність становить 1290 діб, а при температурі 12,23 °С довговічність зменшується до 1108 діб. Зменшення довговічності на 151 - 152 діб із зміною температури від 4,19 до 12,23 °С відбувається і при вологості 80,5 і 92 %. Таким чином, підвищення температури на 1 °С в середньому скорочує термін експлуатації виробу на 19 діб (1,3 - 1,5 %), а підвищення вологості на 1 % – збільшує термін експлуатації приблизно на 7 діб (0,5 - 0,54 %).

На рис. 3. наведено прогнозовану довговічність з'єднань деревини дуба склеєної термопластичними клеями в залежності від зміни середньозваженої температури за різної вологості навколишнього середовища.

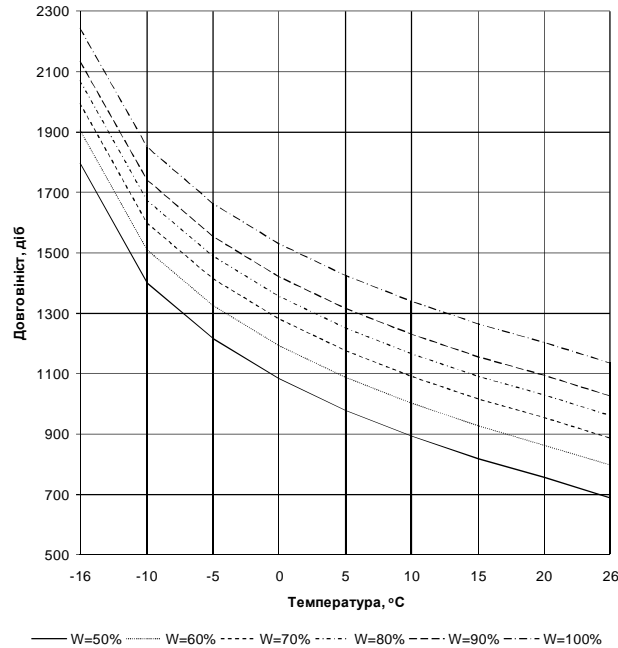


Рис. 3 – Прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини дуба склесних структурованими клеями із ступенем навантаження D4 від зміни температури за різної вологості

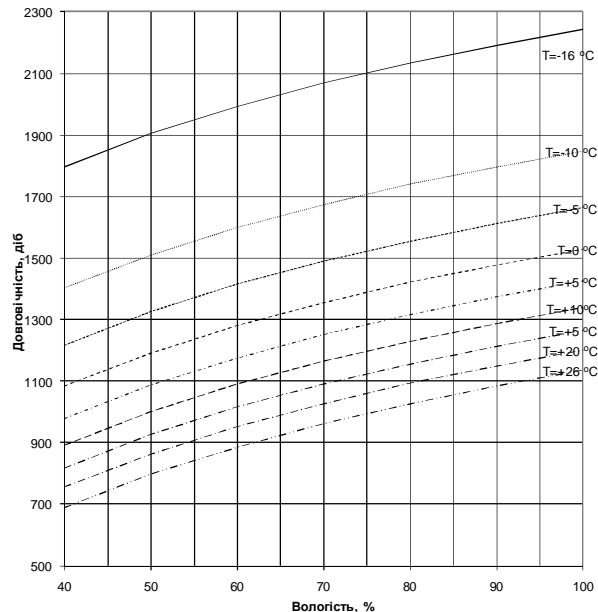


Рис. 4 – Прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини дуба склесних структурованими клеями із ступенем навантаження D4 від зміни вологості для різних температур

На рис. 4. наведено прогнозовану довговічність з'єднань деревини дуба склеєної структурованими клеями із навантаженням D4 в залежності від зміни середньозваженої вологості за різної температури експлуатації.

З рис. 3 і рис. 4 видно, що підвищення температури на 1 °С в середньому скорочує термін експлуатації виробу на 0,7 доби (або на 0,12% від довговічності), а підвищення вологості на 1% – збільшує термін експлуатації приблизно на 3,5 доби (0,66 % від довговічності).

Аналогічні результати прогнозування довговічності за допомогою математичної моделі для деревини дуба склеєної неструктурованими термопластичними клеями із ступенем навантаженням D1 наведені на рис. 5 і рис. 6.

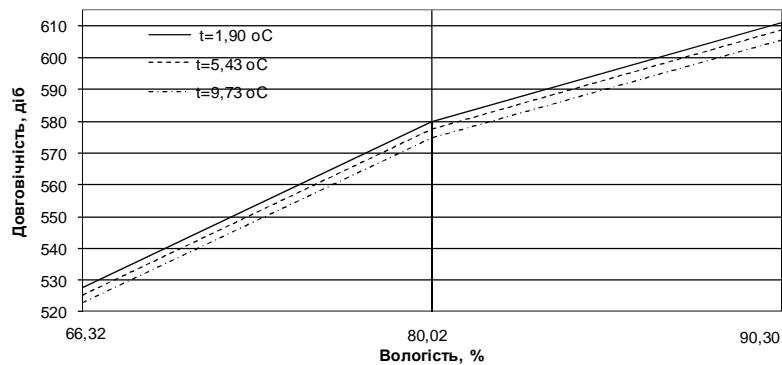


Рис. 5 – Прогнозування довговічності клеєвих з'єднань деревини дуба склесних неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1 від зміни вологості

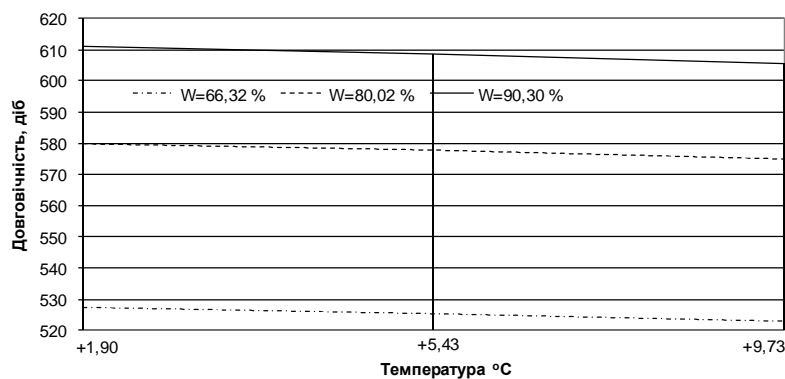


Рис. 6 – Прогнозування довговічності клеєвих з'єднань деревини дуба склесних неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1 від зміни температури

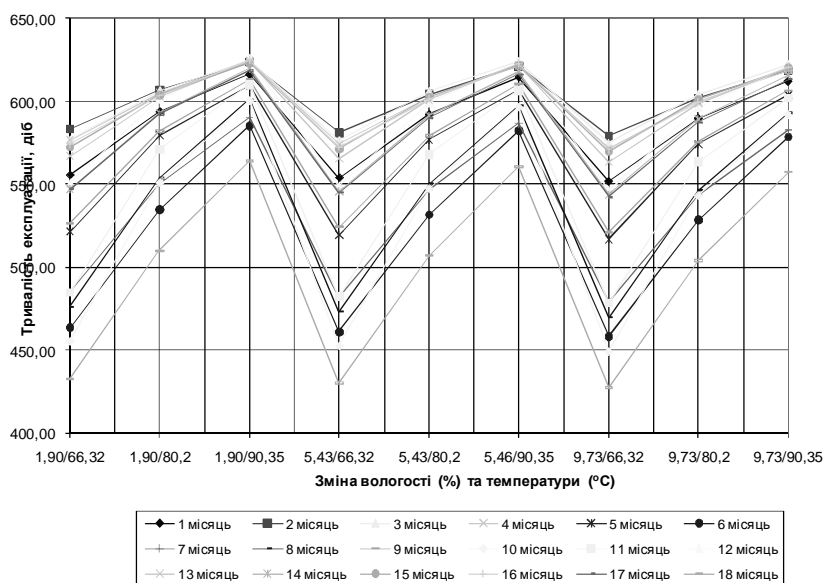


Рис. 7 – Прогнозування довговічності клеєвих з'єднань деревини дуба склесних неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1 в залежності від поєднання зміни температури та вологості

Якщо порівняти аналогічні дані для клейових з'єднань із ступенем навантаження D4, то можна зробити висновок, що на довговічність клейових з'єднань із ступенем навантаження D1 значно менше впливає температура і дещо менше вологість навколишнього середовища.

Пояснити це можна тим, що неструктуровані термопластичні клейові з'єднання деревини дуба із ступенем навантаження (D1) формують лінійну структуру клейового шва, в яких релаксація внутрішніх деформаційних напружень, що виникають при зміні вологості і температури буде більшою, порівняно з структурованими термопластичними клейовими з'єднаннями деревини із ступенем навантаження (D4).

На рис. 7. наведено результати прогнозування міцності для клейових з'єднань деревини дуба склеєних неструктурованими термопластичними клеями із ступенем навантаження D1 в залежності від поєднання середньозваженої зміни температури та вологості навколишнього середовища.

Вісь X: чисельник – середньозважена температура навколишнього середовища (T); знаменник – середньозважена вологість навколишнього середовища (ϕ).

Висновки

Підсумовуючи можна констатувати, що прогнозування довговічності за допомогою математичної моделі дозволило дослідити вплив циклічної дії температури та вологості навколишнього середовища на довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини та встановити загальні закономірності її зміни. Згідно яких термопластичні клейові з'єднання деревини дуба будуть краще експлуатуватися при від'ємних температурах та підвищеній вологості навколишнього середовища. Така поведінка клейових з'єднань деревини під час експлуатації пояснюється фізико - хімічними процесами, які будуть проходити у клейових з'єднаннях деревини під час експлуатації, та дослідженнями спектрального аналізу термопластичної клейової плівки.

Література

1. Кшивецький Б.Я. Дослідження релаксаційних властивостей клейової плівки на основі полівінілацетату залежно від кількості циклів волого-температурних навантажень / Б.Я. Кшивецький // Вісник НУ «Львівська політехніка». «Хімія, технологія речовин та їх застосування» 2007. – С. 60-64.
2. Кшивецький Б.Я., Салапак Л.В. 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.
3. Патент на корисну модель №45134 Україна, МПК B23V 21/00. Спосіб прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини дуба клеями на основі полівінілацетату / Кшивецький Б.Я., Бехта П.А. (Україна); Заявл. 29.05.2009; Опубл. 26.10. 2009, Бюл. №5.
4. Патент на корисну модель №48285 Україна, МПК B23V 21/00 Спосіб прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини сосни клеями на основі полівінілацетату / Кшивецький Б.Я., Бехта П.А. (Україна); Заявл. 29.09.2009; Опубл. 10.03. 2010, Бюл. №5.
5. Патент на винахід №98515 Україна, МПК G01N 33/46, G01L 1/26. Спосіб прогнозування міцності та довговічності з'єднань деревини клеями на основі полівінілацетату / Кшивецький Б.Я., Бехта П.А. (Україна); Заявл. 25.05.2010; Опубл. 25.05.2012, Бюл. №10.
6. Assoc. prof. V. Ya. Kshyvetskyu. Modeling of the influence of atmospheric moisture cyclic action on the durability of thermoplastic adhesive wood joint / V. Ya. Kshyvetskyu // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість: міжнародний науково-технічний збірник. – Львів: НЛТУ України. – 2011. – Вип. 37.2. – С. 75-80.
7. Б.Я. Кшивецький. Дослідження довговічності з'єднань твердолистяних порід деревини клеями на основі полівінілацетату / Б.Я. Кшивецький // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. – 2004. Вип. 14.7. – С. 99-103.
8. Б.Я. Кшивецький, П.А. Бехта. Прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини клеями на основі полівінілацетату /Б.Я. Кшивецький, П.А. Бехта// Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість: міжнародний науково-технічний збірник. – Львів: НЛТУ України. – 2009. – Вип. 35. – С. 84-89.

Надійшла 11.10.2012