

## ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВИНИ БЕРЕЗИ

**Б. Я. Кшивецький, доктор технічних наук, професор  
Національний лісотехнічний університет України  
e-mail: kshivby@ukr.net**

*За допомогою математичної моделі здійснено прогнозування міцності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини берези залежно від зміни вологості й температури навколишнього середовища. Зроблено аналіз отриманих результатів, на основі якого встановлено, що підвищена температура навколишнього середовища призводить до зменшення міцності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини берези, а підвищена вологість, навпаки, до незначного її підвищення.*

**Ключові слова:** *клей, деревина, міцність, вологість, температура, клейові з'єднання, прогнозування, водостійкість, теплостійкість.*

Сучасне деревообробне виробництво не може обійтись без склеювання. Склеєну деревину і деревинні матеріали широко використовують у домобудуванні, столярно-будівельному виробництві, виготовленні паркетної дошки, меблевих виробів, клеєного бруса тощо. За останні роки світові темпи випуску клеєної деревини зросли і становлять більше як 3400 тис. м<sup>3</sup> на рік. Таких високих темпів розвитку клеєна деревина набула завдяки перевагам, які дають їй змогу конкурувати з іншими видами з'єднань. Серед основних вимог, які ставлять до клеєних деревних та деревинних матеріалів, є забезпечення відповідної міцності та довговічності.

Міцність – це властивість клейового з'єднання чинити опір зовнішнім навантаженням не деформуючись і не руйнуючись. Міцність залежить від адгезійних і когезійних властивостей клею, матеріалів, що склеюються, технологічних параметрів режиму склеювання, структури формування клейового з'єднання, умов експлуатації тощо.

На основі експериментальних і теоретичних досліджень міцності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини, з використанням математичного та імітаційного моделювання напружено-деформаційного стану побудовано математичну модель прогнозування міцності для термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини дуба, яка має вигляд [1, 7]:

$$\sigma = -A^{(i)}\Delta T^{(i)} + B^{(i)}\Delta W^{(i)} \exp(-\alpha^{(i)}\tau^{(i)}); \quad (1)$$

де  $\Delta T^{(i)}$  – середньозважена температура навколишнього середовища, °C;

$\Delta W^{(i)}$  – середньозважена вологість навколишнього середовища, %;

$\sigma_{гран.}$  – гранична міцність з'єднання;

параметри  $A^{(i)}$ ,  $B^{(i)}$ ,  $C^{(i)}$  – залежні від зміни температури і вологості навколишнього середовища.

Для прогнозування міцності інших порід деревини необхідно розрахувати коефіцієнт на породу деревини  $k_{п.д.}$ . Математична модель для прогнозування міцності клейових з'єднань деревини з урахуванням коефіцієнта на породу деревини  $k_{п.д.}$  матиме такий вигляд:

$$\sigma = k_{п.д.} \cdot (-A^{(i)} \cdot \Delta T^{(i)} + B^{(i)} \cdot \Delta W^{(i)} \exp(-C^{(i)} \cdot \tau^{(i)})) \quad (2)$$

де  $k_{п.д.}$  – коефіцієнт, що враховує породу деревини.

Для клейового з'єднання деревини дуба коефіцієнт на породу деревини дорівнює 1. Для інших порід деревини цей коефіцієнт відрізнятиметься від одиниці, оскільки кожна порода деревини характеризується певними фізико-механічними властивостями. Для деревини берези розрахункове значення коефіцієнта на породу деревини – 0,855. Методику розрахунку коефіцієнтів та прогнозування міцності для термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини сосни наведено у публікаціях [2, 3, 4].

Запропонована математична модель (2) дає змогу прогнозувати міцність для структурованих і неструктурованих термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини берези незалежно від марки та фірми-виробника клею, без прив'язки до певних часових меж зміни вологості та температури навколишнього середовища тощо.

Тобто, врахувавши ступінь навантаження клейового з'єднання, температуру та вологість навколишнього середовища, можна неруйнівним способом прогнозувати міцність для термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини берези. Під час прогнозування міцності клейових з'єднань, вологість і температура навколишнього середовища відповідала їхньому середньозваженому значенню за трирічний період тривалих експериментальних досліджень [5].

**Метою** статті є дослідити та вивчити зміну міцності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини берези за допомогою математичної моделі залежно від зміни вологості та температури навколишнього середовища.

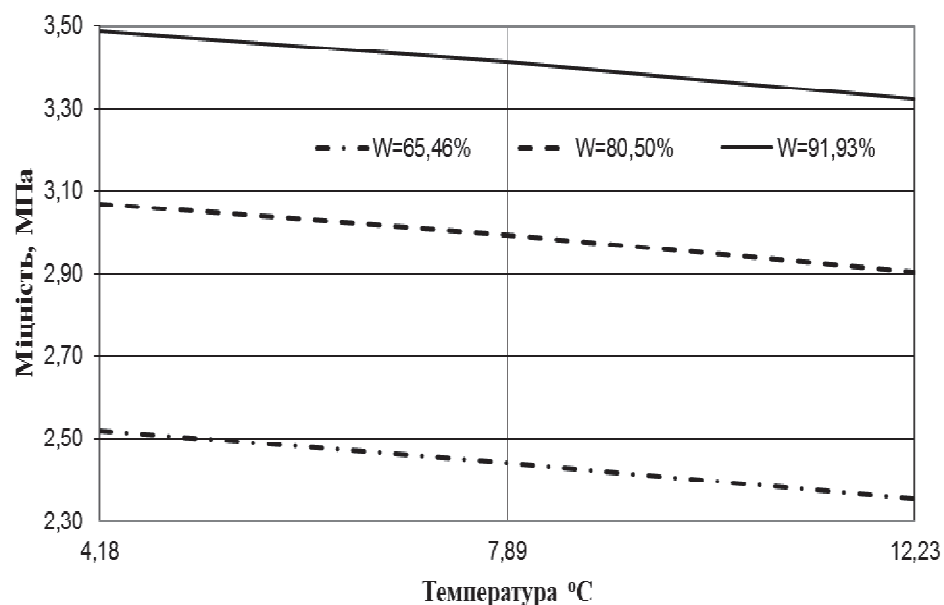
**Результати досліджень.** За допомогою отриманої математичної моделі здійснено прогнозування та вивчення закономірностей зміни міцності у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини берези. Для прикладу на рисунках 1–2 наведено графічну інтерпретацію результатів прогнозування міцності термопластичних полівінілацетатних структурованих (ступінь навантаження D4) клейових

з'єднань деревини берези залежно від зміни температури та вологості навколишнього середовища.

На рисунках 1 і 2 видно, що із підвищенням температури навколишнього середовища на 1°C міцність термопластичних клейових з'єднань деревини берези в середньому зменшується на 0,021 МПа.

Вологість впливає суттєвіше, оскільки зі збільшенням вологості навколишнього середовища на 26,47 % міцність у середньому зростає на 0,9 МПа. Тобто зі збільшенням вологості на 1 % міцність зростає на 0,034 МПа (приблизно на 1,2 % від початкової).

Якщо порівнювати клейове з'єднання деревини берези з клейовим з'єднанням деревини дуба [6], то міцність зменшується на 0,65 % або на 0,34 МПа. Тобто клейові з'єднання деревини дуба із ступенем навантаження D4 чутливіші до впливу температури й вологості, ніж аналогічні з'єднання деревини берези.

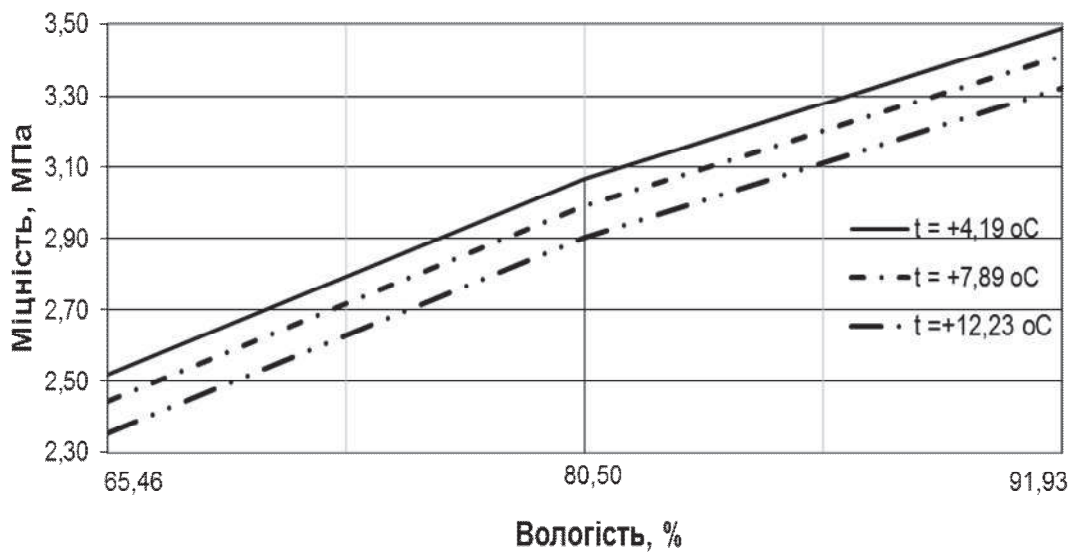


**Рис. 1. Зміна міцності клейових з'єднань деревини берези, склеєних структурованими клеями із ступенем навантаження D4, залежно від зміни температури за різної вологості**

Таку поведінку зміни міцності клейових з'єднань можна пояснити будовою деревини берези, її реологічними властивостями та компонентами полівінілацетатного клею, який на 90 % складається з полівінілацетату (ПВА) і полівінілового спирту (ПВС), котрі у природному початковому стані належать до аморфних речовин, що мають високу еластичність. Тому найкращу адгезійну і когезійну міцність з'єднання деревини, склеєні структурним клеєм, матимуть у межах температури склування клейової композиції.

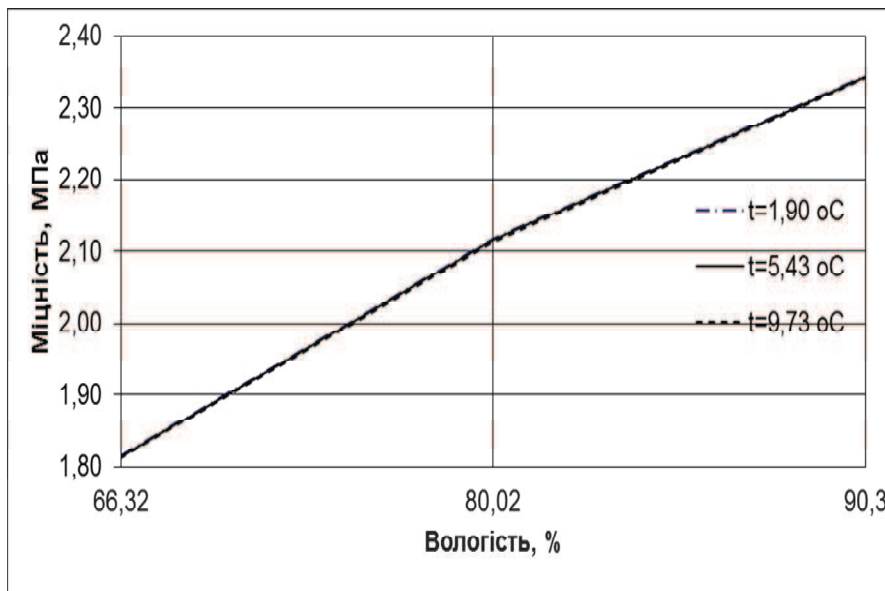
Крім того, деревина берези відрізняється від деревини дуба кількістю, розмірами та будовою судин, що впливатиме на товщину клейового шару. Довжина волокон деревини дуба становить 100–400 мм, а берези – 300–600 мм. Діаметр судин деревини дуба – 10–400 мм, а

берези 30–130  $\mu\text{m}$ . Глибина проникнення клею в деревину залежатиме і від тиску склеювання.



**Рис. 2. Зміна міцності клейових з'єднань деревини берези, склеєних структурованими клеями із ступенем навантаження D4, залежно від зміни вологості за різних температур**

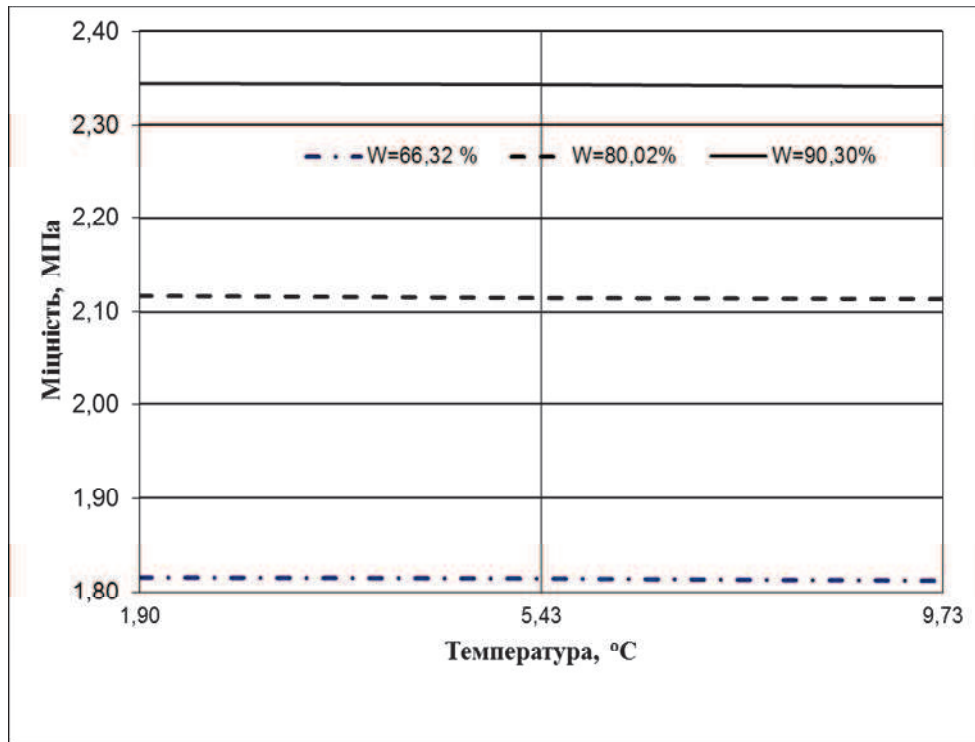
На рисунках 3 і 4 наведено зміну міцності для неструктурованих термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини берези, ступінь навантаження D1.



**Рис. 3. Зміна міцності клейових з'єднань деревини берези, склеєних неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1, залежно від зміни вологості за різної температури**

Як видно з рисунків 3 і 4, міцність практично не залежить від температури, але зі зростанням вологості від 66,32 % до 90,3 % збільшується від 1,83 до 2,35 МПа.

Якщо порівнювати ці зміни із змінами у клейових з'єднаннях деревини берези із ступенем навантаження D4, то можна зробити висновок, що клейові з'єднання з лінійною будовою менш чутливі до зміни температури і вологості, ніж клейові з'єднання з рідкосітчастою структурою клейового шва.

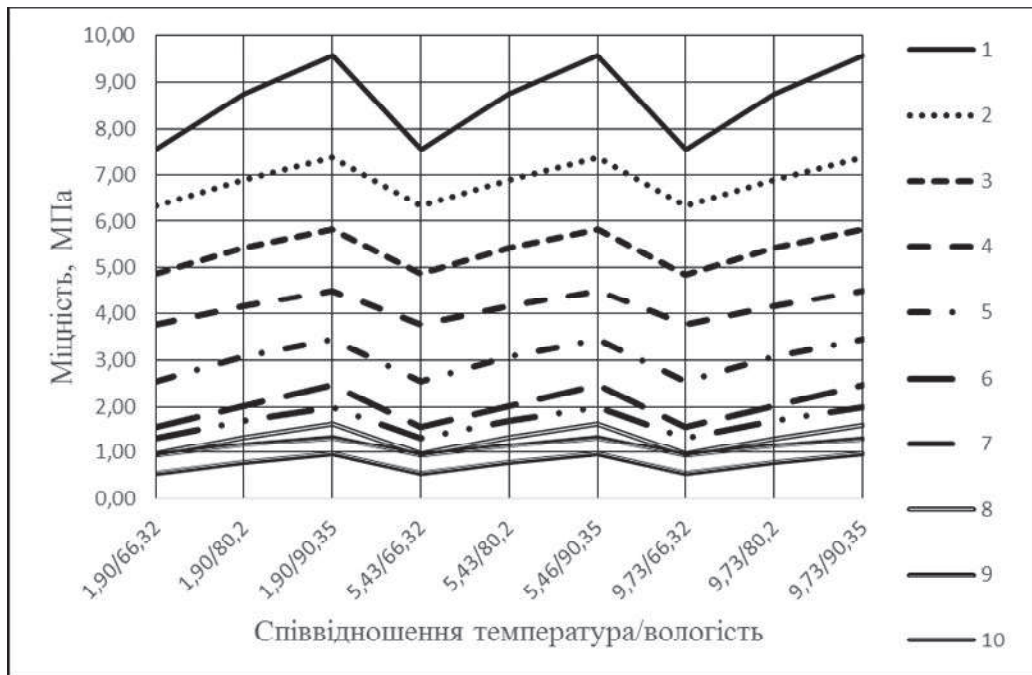


**Рис. 4. Зміна міцності клейових з'єднань деревини берези, склеєних неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1, залежно від зміни температури за різної вологи**

Досить цікавою є поведінка клейових з'єднань деревини берези, сформованих термопластичними полівінілацетатними клеями в разі поєднання різних температурних та вологісних діапазонів, тобто за впливу, наприклад, середньозваженої мінімальної температури та середньозваженої вологості навколишнього середовища. Результати досліджень прогнозування міцності неструктурованих полівінілацетатних клейових з'єднань наведено на рис. 5.

Як видно з рис. 5, ми маємо синусоїдальну зміну міцності, згідно з якою міцність постійно зменшується за мінімальної вологості 66,32 % для будь-якої середньозваженої температури. У разі зростання вологості міцність постійно збільшується. Починаючи з 6-го місяця експлуатації характер зміни міцності є дещо слабкішим, тобто зі збільшенням вологості міцність збільшується, але з меншою інтенсивністю. Аналогічні результати отримуємо і для структурованих клейових з'єднань деревини берези. Вплив вологи і температури на

структуровані клейові з'єднання більш значущий, ніж на неструктуровані.



**Рис. 5. Зміна міцності клейових з'єднань деревини берези, склеєних неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1, залежно від співвідношення температури та вологості**

Підсумовуючи, можна зазначити, що міцність термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини берези змінюється за експоненціальною залежністю. Це пов'язано з будовою та структурою деревини берези та зміною внутрішніх напружень, які виникають зі зміною вологості й температури, особливо на поверхні розподілу деревина – клей. З'єднання з лінійною структурою клейового шва більшою мірою компенсують напруження, порівняно із рідкосітчастою структурою. Тому вони є менш чутливі до зміни вологості й температури навколишнього середовища. З'єднання із рідкосітчастою структурою клейового шва значно довше витримують циклічну дію вологості та температури навколишнього середовища, а за підвищеної вологості та понижених температур дещо збільшують свою міцність.

### Список літератури

1. Kshyvetskyu V. Ya. Modeling of the influence of atmospheric moisture cyclic action on the durability of thermoplastic adhesive wood joint / V. Ya. Kshyvetskyu // Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. – Львів : НЛТУ України, 2011. – Вип. 37.2. – С. 75–80.
2. Кшивецький Б. Я. Розрахунок коефіцієнтів, що враховують породу деревини при прогнозуванні міцності термопластичних клейових з'єднань / Б. Я. Кшивецький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2013. – Вип. 23.16. – С. 172–176.

3. Кшивецький Б. Я. Вплив вологості і температури на міцність термопластичних клейових з'єднань хвойних порід деревини / Б. Я. Кшивецький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2015. – Вип. 25.6. – С. 178–183.

4. Кшивецький Б. Я. Вплив вологості і температури на міцність термопластичних клейових з'єднань листяних порід деревини / Б. Я. Кшивецький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2015. – Вип. 25.1. – С. 148–155.

5. Кшивецький Б. Я. Дослідження міцності з'єднань деревини сосни клеями на основі полівінілацетату за дії природних факторів / Б. Я. Кшивецький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2007. – Вип. 17.3. – С. 110–112.

6. Кшивецький Б. Я. Прогнозування довговічності термопластичних клейових з'єднань деревини за допомогою математичної моделі / Б. Я. Кшивецький // Проблеми трибології : міжнародний наук. журнал. – Хмельницький НУ, 2012. – № 4. – С. 38–42.

7. Патент на винахід № 98515 Україна, МПК G01N 33/46, G01L 1/26. Спосіб прогнозування міцності та довговічності з'єднань деревини клеями на основі полівінілацетату / Б. Я., Кшивецький П. А. Бехта (Україна); Заявл. 25.05.2010; Опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.

*С помощью математической модели осуществлено прогнозирование прочности термопластичных поливинилацетатных клеевых соединений древесины березы в зависимости от изменения влажности и температуры окружающей среды. Сделан анализ полученных результатов, на основе которого установлено, что повышенная температура окружающей среды приводит к уменьшению прочности термопластичных поливинилацетатных клеевых соединений древесины березы, а повышенная влажность, наоборот, к незначительному ее повышению.*

**Ключевые слова:** *клей, древесина, прочность, влажность, температура, клеевые соединения, прогнозирование, водостойкость, теплостойкость.*

*By means of mathematical modeling, a prediction has been carried out of the strength of thermoplastic adhesive birch-wood joints depending on varying ambient humidity and temperature.*

*An analysis of the obtained results has been made, on the basis of which it is found that elevated ambient temperatures lead to reduced strength of thermoplastic polyvinyl acetate adhesive joints of birch wood, while increased humidity, on the contrary, results in a slight increase in the strength.*

**Key words:** *adhesive, wood, strength, humidity, temperature, adhesive joints, prediction, water resistance, heat resistance.*