

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ  
СКЛЕЮВАННЯ НА МІЦНІСТЬ З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВИНИ ДУБА  
СФОРМОВАНИХ КЛЕЙОВИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ НА ОСНОВІ ПВА  
ДИСПЕРСІЇ МОДИФІКОВАНОЇ ОКИСНО-ВІДНОВНИМ КОМПЛЕКСОМ**

**Солонинка В.Р., асистент**

*(Національний лісотехнічний університет України)*

*Наведені результати вивчення впливу режимних параметрів процесу склеювання деревини дуба клеями на основі ПВА дисперсії модифікованої окисно-відновним комплексом (реактив Фентона). На основі аналізу отриманих результатів наведено значення режимних параметрів, що забезпечують максимальну міцність склеювання.*

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку деревообробної промисловості для формування з'єднань деревини і деревинних матеріалів використовують велике розмаїття способів і матеріалів, одним з найбільш перспективніших серед яких є склеювання. Проте, на відміну від механічних способів формування з'єднань, кількість операцій по формуванню клейового з'єднання як на стадії підготовки матеріалів, так і безпосередньо при склеюванні є надзвичайно великою. Це в першу чергу пов'язано з тим, що на даний процес впливає велике розмаїття основних і допоміжних режимних параметрів [1,3,4].

Тому при розробленні нових клейових композицій, чи модифікації існуючих, велику увагу слід приділити правильному вибору режимних параметрів процесу склеювання. Це пов'язано з тим, що зміна компонентного складу клею, хімічної структури і ступеня полімеризації (поліконденсації) полімеру (олігомеру)-основи тощо, ведуть до зміни режимних параметрів процесу формування клейових з'єднань [1,5,6].

Тому **метою даної роботи** було вивчити вплив основних режимних параметрів процесу склеювання на формування з'єднань деревини дуба модифікованими ПВА клеями і на основі отриманих знань розробити рекомендації, щодо їх вибору з метою досягнення максимальної міцності склеюваної деревини.

**Матеріали та методи досліджень.** Для виконання досліджень виготовлялися взірці з фрезерованих заготовок деревини дуба товщиною 20 мм. Форма і розміри взірців, а також методика випробувань міцності клейових з'єднань на сколювання вздовж волокон відповідають вимогам ГОСТ 15613.1-84 [2]. Для склеювання застосовували модифіковану окисно-відновним комплексом (реактив Фентона) ПВА дисперсію марки ПВАД-51П, яку позначаємо за допомогою аббревіатури ПВАД-ВС.

Всі операції по підготовці і проведенню досліджень виконувались на лабораторному і виробничому обладнанні у відповідності до діючих стандартів і нормативних документів.

**Виклад основного матеріалу.** На основі аналізу літературних джерел серед великого розмаїття режимних параметрів, що впливають на процес склеювання, для досліджень було вибрано ті, які є ключовими для формування міцних і довговічних з'єднань за допомогою клеїв на основі ПВАД. До таких параметрів належать: тривалість відкритої витримки перед склеюванням; питомий тиск пресування; тривалість пресування, а також питома витрата клею [1,3,4,5,6]. Межі варіювання змінних факторів зведені в таблицю 1.

Безперечно всі інші режимні параметри процесу склеювання (як основні так і допоміжні) також є важливими для забезпечення високої міцності і довговічності сформованих з'єднань. Проте оскільки їхній вплив у порівнянні з впливом вибраних для досліджень факторів є меншим, або їх значення вибираються у відповідності до галузевих норм, то значення даних факторів були зафіксовані на єдиному рівні для всіх досліджень.

Таблиця 1. Методична сітка дослідів

№ з/п	Назва фактора	Одиниці виміру фактора	Натуральне позначення фактора	Кодоване позначення фактора	Рівень фактора						Інтервал зміни фактора, $\Delta x_i$
					нижній		основний		верхній		
					натуральне значення	кодоване значення	натуральне значення	кодоване значення	натуральне значення	кодоване значення	
1	Тиск пресування	МПа	p	$x_1$	0,2	-1	0,6	0	1	1	0,4
2	Витрата клею	г/м <sup>2</sup>	q	$x_2$	120	-1	160	0	200	1	40
3	Тривалість відкритої витримки	хв	$T_1$	$x_3$	0	-1	7,5	0	15	1	7,5
4	Тривалість пресування	хв	$T_2$	$x_4$	20	-1	40	0	60	1	20

При реалізації плану другого порядку за вибраними рівнями варіювання змінних факторів (табл. 1) була отримана наступна регресійна модель:

$$\begin{aligned}
 y = & 10,284 + 0,4782 \cdot x_1 + 0,7077 \cdot x_2 + 0,4363 \cdot x_3 + 0,6552 \cdot x_4 - 0,3367 \cdot x_1^2 - 1,0817 \cdot x_2^2 - \\
 & - 0,3939 \cdot x_3^2 + 0,0322 \cdot x_4^2 + 0,0231 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,097 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,126 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,6901 \cdot x_2 \cdot x_3 + \\
 & + 0,0782 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0,0042 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,0229 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,0511 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0,0062 \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot \\
 & \cdot x_4 - 0,0208 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,0921 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,1478 \cdot x_1^2 \cdot x_2 - 0,1262 \cdot x_1^2 \cdot x_3 - 0,0401 \cdot \\
 & \cdot x_1^2 \cdot x_4 - 0,0669 \cdot x_2^2 \cdot x_1 - 0,1262 \cdot x_2^2 \cdot x_3 - 0,0401 \cdot x_2^2 \cdot x_4 - 0,0669 \cdot x_3^2 \cdot x_1 - 0,1478 \cdot x_3^2 \cdot \\
 & \cdot x_2 - 0,0401 \cdot x_3^2 \cdot x_4 - 0,0669 \cdot x_4^2 \cdot x_1 - 0,1478 \cdot x_4^2 \cdot x_2 - 0,1262 \cdot x_4^2 \cdot x_3
 \end{aligned} \quad (1)$$

З метою більш детального вивчення впливу змінних факторів на величину міцності при сколюванні вздовж волокон склеєних взірців деревини дуба слід почергово дослідити залежність властивостей отриманої регресійної моделі від

кожного з факторів, коли решта зафіксовані на певному рівні. Для того, щоб встановити рівні факторів, на яких їх слід фіксувати, першочергово необхідно розв'язати оптимізаційну задачу, адже аналіз найбільш доцільніше проводити в околі оптимальних значень.

Для цього в першу чергу слід перевести регресійну модель з кодованих позначень в натуральні скориставшись формулами зв'язку:  $x_1 = \frac{p-0,6}{0,4}$ ;  $x_2 = \frac{q-160}{40}$ ;  $x_3 = \frac{T_1-7,5}{7,5}$ ;  $x_4 = \frac{T_2-40}{20}$ . Отримана регресійна модель в результаті проведених перетворень має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \tau = & 0,963375 - 5,77 \cdot p + 0,12504125 \cdot q - 0,65742 \cdot T_1 - 0,19252125 \cdot T_2 + 2,880625 \cdot p^2 - \\ & - 0,0004844688 \cdot q^2 + 0,00671733 \cdot T_1^2 + 0,002129375 \cdot T_2^2 + 0,0586625 \cdot p \cdot q - 0,0807333 \cdot \\ & \cdot p \cdot T_1 + 0,0429625 \cdot p \cdot T_2 + 0,0059831663 \cdot q \cdot T_1 + 0,001186875 \cdot q \cdot T_2 + 0,00073667 \cdot T_1 \cdot \\ & \cdot T_2 + 0,0013441667 \cdot p \cdot q \cdot T_1 + 0,000128125 \cdot p \cdot q \cdot T_2 + 0,006243333 \cdot p \cdot T_1 \cdot T_2 + \\ & + 0,0000195583 \cdot q \cdot T_1 \cdot T_2 - 0,000038375 \cdot p \cdot q \cdot T_1 \cdot T_2 - 0,02309375 \cdot p^2 \cdot q - 0,10516667 \cdot \\ & \cdot p^2 \cdot T_1 - 0,01253125 \cdot p^2 \cdot T_2 - 0,00010453125 \cdot q^2 \cdot p - 0,00001051667 \cdot q^2 \cdot T_1 - \\ & - 0,000001253125 \cdot q^2 \cdot T_2 - 0,002973333 \cdot T_1^2 \cdot p - 0,00006568889 \cdot T_1^2 \cdot q - 0,0000356444 \cdot \\ & \cdot T_1^2 \cdot T_2 - 0,000418125 \cdot T_2^2 \cdot p - 0,0000092375 \cdot T_2^2 \cdot q - 0,0000420667 \cdot T_2^2 \cdot T_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Після виконання оптимізації згідно методів зведеного градієнта було встановлено, що максимального значення міцності ( $\tau=11,3$  МПа) склеєні композицією ПВАД-ВС взірці дуба досягають при наступних значеннях режимних параметрів процесу формування з'єднання: тиск пресування  $p=0,79$  МПа ( $x_1=0,47$ ), витрата клею  $q=173,7$  г/м<sup>2</sup> ( $x_2=0,34$ ), тривалість відкритої витримки перед пресуванням  $T_1=10,7$  хв. ( $x_3=0,43$ ) і тривалість пресування  $T_2=60$  хв. ( $x_4=1$ ).

Для вивчення впливу на міцність склеювання деревини дуба тиску пресування  $p$  (фактор  $x_1$ ) в регресійну модель підставимо значення решти факторів зафіксовані на оптимальному рівні, внаслідок чого отримаємо наступне рівняння параболи:

$$y = 11,196 + 0,452 \cdot x_1 - 0,481 \cdot x_1^2 \quad (3)$$

Оскільки виконуються нерівності  $|0,452| < 2 \cdot |-0,481|$  і  $-0,481 < 0$ , функція описує випуклу параболу і в межах інтервалу варіювання фактора  $x_1 \in [-1; 1]$  набуває максимуму (11,3 МПа) в точці  $x_1=0,47$  ( $p=0,79$  МПа). Отже, значення міцності при сколюванні вздовж волокон клеєних взірців з деревини дуба при збільшенні тиску пресування від мінімального значення 0,2 МПа ( $x_1=-1$ ) до значення 0,79 МПа ( $x_1=0,47$ ) зростає. Подальше збільшення тиску пресування веде до зменшення міцності склеювання. Такі результати найбільш імовірно можна пояснити тим, що перевищення показником тиск пресування значення в 0,79 МПа за інших рівних умов веде до надмірного видалення композиції із зони склеювання, що сприяє скорочення кількості клеючої речовини в шві і як наслідок, погіршенню структуроутворюючих процесів на межі розподілу фаз клейова композиція-деревина і в товщині самої клейової плівки.

Проте при вивченні впливу змінних факторів на вихідну величину замало констатувати вплив одного з факторів без врахування одночасного впливу інших факторів. Це пов'язано з тим, що закономірність зміни вихідної величини від впливу одного з факторів може мінятися при зміні значень інших факторів. Проте, оскільки всі взаємодії фактора  $x_1$  або не здійснюють суттєвого впливу в порівнянні з впливом самих факторів, або їх вплив проявляється тільки на незначному проміжку області експерименту, то в даній роботі вплив цих взаємодій на вихідну величину (міцність склеювання) не розглядається.

Для вивчення впливу значень витрати клею  $q$  (фактор  $x_2$ ) на міцність клейових з'єднань деревини дуба в результаті підставлення в регресійну модель значень всіх інших факторів зафіксованих на рівні, при якому функція відгуку набуває максимуму, отримано наступне рівняння параболі:

$$y = 11,159 + 0,83 \cdot x_2 - 1,208 \cdot x_2^2 \quad (4)$$

Оскільки  $|0,83| < 2 \cdot |-1,208|$  і  $-1,208 < 0$ , то рівняння описує випуклу параболу, а екстремуму ( $\tau = 11,3$  МПа) функція досягає при значенні змінної  $x_2 = 0,34$  ( $q = 173,7$  г/м<sup>2</sup>). Збільшення витрати клею від 120 г/м<sup>2</sup> до 173,7 г/м<sup>2</sup>, за інших рівних умов, буде сприяти збільшенню міцності склеювання. Подальше підвищення витрати клею до 200 г/м<sup>2</sup> є недоцільним, оскільки веде до поступового зменшення міцності сформованих з'єднань. Даний ефект найбільш імовірно можна пояснити тим, що збільшення витрати клею веде до збільшення товщини клейового шару, що сприяє накопиченню усадкових напружень в сформованих з'єднаннях. Окрім того, оскільки в клейовій композиції ПВАД-ВС дисперсійним середовищем є вода, то надмірне збільшення витрати клею сприяє суттєвому зволоженню склеюваної деревини на межі розподілу фаз, а також ускладненому видаленню вологи із самого клейового шва, що також негативно впливає на міцність сформованих з'єднань.

Оскільки при аналізі коефіцієнтів рівняння регресії зі всіх взаємодій фактора  $x_2$  суттєвий вплив на зміну вихідної величини в порівнянні з впливом самих факторів має тільки взаємодія з фактором  $x_3$ , то для вивчення впливу даної взаємодії для різних значень фактора  $x_3$  отримані наступні графічні залежності:

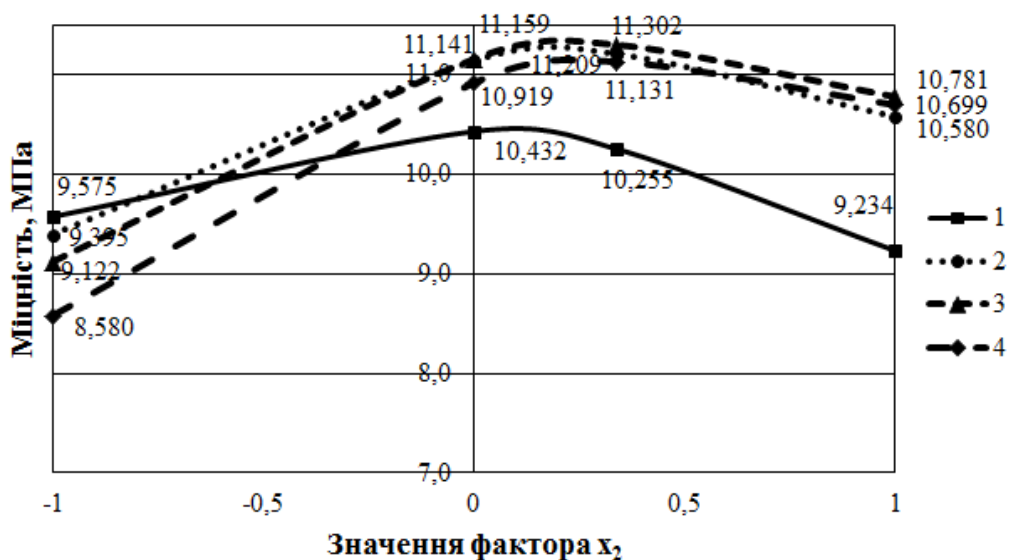


Рис.1. Залежність міцності склеєної деревини дуба на сколювання вздовж волокон від зміни фактора  $x_2$  (витрата клею) при різних значеннях фактора  $x_3$  (тривалість відкритої витримки перед пресуванням): 1 – витримка перед склеюванням не проводиться ( $x_3=-1$ ); 2 – тривалість відкритої витримки становить 7,5 хв. ( $x_3=0$ ); 3 – тривалість відкритої витримки становить 10,7 хв. ( $x_3=0,43$ ); 4 – тривалість відкритої витримки становить 15 хв. ( $x_3=1$ ).

Як видно з рис.1 вплив взаємодії факторів на значення вихідної величини (міцність склеювання) є значимим, оскільки графічні залежності при зміні значення фактору  $x_3$  (тривалість відкритої витримки) змінюють свої кути нахилу. Навіть більше, оскільки графік залежності міцності склеювання від значень фактора  $x_2$  (витрата клею) є більш пологим при  $x_3=-1$  ( $T_1=0$  хв.), то це свідчить, що вплив витрати клею на зміну величини міцності клейових з'єднань деревини дуба є найменшим за відсутності витримки перед склеюванням.

Для вивчення впливу технологічної витримки перед склеюванням  $T_1$  (фактор  $x_3$ ) на процес формування з'єднань деревини дуба отримано наступне параболічне рівняння:

$$y = 11,209 + 0,438 \cdot x_3 - 0,516 \cdot x_3^2 \quad (5)$$

Оскільки  $|0,438| < 2 \cdot |-0,516|$  і  $-0,516 < 0$ , то рівняння описує випуклу параболу, а екстремуму ( $\tau=11,3$  МПа) функція досягає при значенні змінної  $x_3=0,43$  ( $T_1=10,7$ хв.). Тобто збільшення тривалості витримки перед склеюванням до 10,7 хв., за інших рівних умов, буде сприяти збільшенню міцності склеювання. Подальше збільшення тривалості відкритої витримки перед склеюванням до 15 хв. веде до поступового зменшення міцності, що найбільш імовірно пов'язано з проходженням процесів злипання між макромолекулами ПВА в результаті видалення дисперсійного середовища шляхом адсорбування деревиною або випаровуванням в навколишнє середовище, ще до змикання склеюваних частин матеріалу.

З усіх взаємодій фактора  $x_3$  вагомий вплив на вихідну величину здійснює взаємодія з фактором  $x_2$ , тому для вивчення впливу фактора  $x_3$  на вихідну

величину (міцність склеювання) при різних значеннях фактора  $x_2$  отримані наступні параболічні залежності:

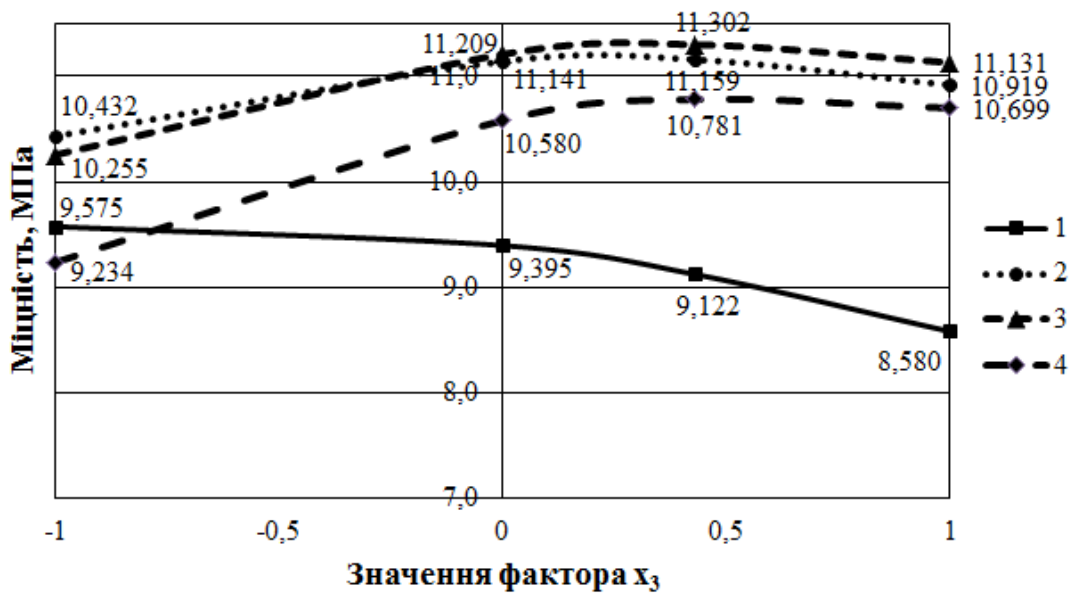


Рис.2. Залежність міцності склеєної деревини дуба на сколювання вздовж волокон від зміни фактора  $x_3$  (тривалість відкритої витримки перед пресуванням) при різних значеннях фактора  $x_2$  (витрата клею): 1 – витрата клею рівна  $120 \text{ г/м}^2$  ( $x_2=-1$ ); 2 – витрата клею рівна  $160 \text{ г/м}^2$  ( $x_2=0$ ); 3 – витрата клею рівна  $173,7 \text{ г/м}^2$  ( $x_2=0,34$ ); 4 – витрата клею рівна  $200 \text{ г/м}^2$  ( $x_2=1$ )

З графічних залежностей наведених на рис.2 видно, що вплив взаємодії факторів  $x_3$  і  $x_2$  (тривалість відкритої витримки перед склеюванням і витрата клею відповідно) є значимим, оскільки графічні залежності змінюють кут нахилу при зміні значення фактору  $x_2$ . Окрім того, коли при склеюванні деревини дуба витрата клею наближається або рівна мінімальному значенню, то збільшення тривалості витримки перед склеюванням, за інших рівних умов, веде до поступового зменшення міцності сформованого клейового з'єднання. Це пов'язано з високою інтенсивністю проходження процесів, описаних вище.

З метою встановлення закономірностей впливу значень тривалості пресування  $T_2$  (фактор  $x_4$ ) на процес формування клейових з'єднань деревини дуба отримано наступне рівняння параболі:

$$y = 10,7 + 0,706 \cdot x_4 - 0,104 \cdot x_4^2 \quad (6)$$

Оскільки  $|0,706| > 2 \cdot |-0,104|$  і  $-0,481 < 0$ , то рівняння описує випуклу параболу, проте з екстремумом функції за межами області експерименту. Це означає, що в межах області експерименту функція є монотонно зростаюча і свого екстремуму ( $\tau=11,3 \text{ МПа}$ ) досягає при значенні фактора  $x_4=1$  ( $T_2=60 \text{ хв.}$ ).

Всі взаємодії фактора  $x_4$  здійснюють вагомий вплив на значення вихідного параметру, проте всі отримані залежності є монотонно зростаючими в межах області експерименту, а змінюється тільки інтенсивність впливу тривалості пресування на міцність сформованих з'єднань при різних значеннях решти режимних параметрів.

Таким чином за допомогою аналізу графічних залежностей і рівнянь отриманих завдяки перетворенням регресійної моделі, а також результатів розв'язування оптимізаційної задачі вдалося встановити як зміна основних технологічних параметрів процесу склеювання буде впливати на зміну міцності сформованих клейових з'єднань.

**Висновки.** Успішне впровадження модифікованих клеїв пов'язане з підбором режимних параметрів таким чином, щоб вони забезпечували максимальний ефект від склеювання і не вимагали додаткового модифікування технологічних процесів в порівнянні з базовими композиціями. В результаті аналізу експериментальних досліджень вдалося отримати регресійну модель, що описує залежність міцності клейових з'єднань деревини від основних режимних параметрів процесу склеювання. Згідно даної залежності функція відгуку набуває максимального значення 11,3 МПа при наступних значеннях вхідних параметрів: витрата клею  $q=173,7$  г/м<sup>2</sup>, тиск пресування  $p=0,79$  МПа, тривалість відкритої витримки перед пресуванням  $T_1=10,7$  хв. і тривалість пресування  $T_2=60$  хв.

Використання такої конфігурації значень вхідних параметрів дозволяє отримати клейові з'єднання деревини дуба з міцністю, що майже в 2 рази перевищує мінімальне значення міцності (7,65 МПа), отримане згідно методичної сітки дослідів. Тобто при склеюванні масивної деревини модифікованими клейовими композиціями ПВАД-ВС рекомендується дотримання режимних параметрів максимально наближених до оптимальних значень, отриманих при аналізі регресійної моделі, а значення не розглянутих в даній роботі режимних параметрів слід вибирати у відповідності до діючих норм, в залежності від технологічних особливостей реалізації процесу склеювання.

### Список літератури

1. Вильнав Ж.-Ж. Клеевые соединения. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
2. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности клееного соединения при скалывании вдоль волокон: ГОСТ 15613.1-84. – [Действует от 1986-07-01] – М.: Государственный стандарт союза ССР, 1984. – 8 с.
3. Зигельбойм С.Н. Термопластичные клеи в производстве мебели. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 104 с.
4. Фрейдин А.С. Полимерные водные клеи. – М.: Химия, 1985. – 144 с.
5. Офіційний сайт Jowat Corporation. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.jowat.com/>.
6. Офіційний сайт фірми KLEBSCHMIE M.G. Becker GmbH & CoKG. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.kleiberit.com/>.

## **Absract**

### **THE RESEARCH INFLUENCE OF REGIME PARAMETERS OF THE PROCESS GLUING ON THE STRENGTH OF OAK WOOD FORMED BY POLYVINYL-ACETATE (PVA) COMPOSITION MODIFIED REDOX COMPLEX**

Solonynka V.R.

*The results of the research influence of regime parameters of the process gluing of oak wood formed by adhesives on the basis of polyvinyl-acetate (PVA) dispersion modified redox complex (Fenton's reagent). On the basis of the received results shows the value of regime parameters for high strength joints formed.*

## **Аннотация**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СКЛЕИВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА СФОРМИРОВАННЫ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ С ПВА ДИСПЕРСИИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ**

Солонинка В.Р.

*Приведенные результаты изучения влияния режимных параметров процесса склеивания древесины дуба клеями на основе ПВА дисперсии модифицированной окислительно-восстановительным комплексом (реактив Фентона). На основе анализа полученных результатов приведены значения режимных параметров, обеспечивающие максимальную прочность склеивания.*