

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 674.04 Проф. Б.Я. Кишовецький, д-р техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ ТА ТЕМПЕРАТУРИ НА МІЦНІСТЬ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВИНИ ЛИСТЯНИХ ПОРІД

На прикладі деревини дуба, наведено результати дослідження впливу вологості та температури навколишнього середовища на міцність полівінілацетатних клейових з'єднань листяних порід деревини. Для досліджень використано математичну модель прогнозування міцності термопластичних клейових з'єднань деревини. Здійснено аналіз отриманих результатів прогнозування міцності клейових з'єднань деревини дуба. Досліджено вплив будови і структури деревини дуба та хімічних компонентів структурованих і неструктурованих полівінілацетатних клеїв на міцність клейових з'єднань під час експлуатації. Встановлено закономірність зміни міцності термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини дуба залежно від зміни вологості і температури навколишнього середовища.

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

Для досліджень закономірностей зміни міцності термопластичних ПВА клейових з'єднань листяних порід деревини використано деревину породи дуб та математичну модель прогнозування міцності [1-3]:

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

де: $\Delta T^{(i)}$ – середньозважена температура навколишнього середовища, °C; $\Delta W^{(i)}$ – середньозважена вологість навколишнього середовища; параметри $A(i)$, $B(i)$, $C(i)$ – залежні від зміни температури і вологості навколишнього середовища.

Під час вивчення закономірностей зміни міцності термопластичних клейових з'єднань деревини дуба, температурний та вологісний діапазон навколишнього середовища відповідав середньозваженому значенню Західного регіону України за рік, у якому зміна температури знаходилась в межах від -25,4°C до +33,3°C, а вологості – від 40 до 100 %. Результати дослідження наведено в табл. та рис. 1 і 2.

Табл. Розрахунок міцності клейових з'єднань деревини дуба залежно від вологості та температури навколишнього середовища

Вологість, %	Міцність σ , МПа			$\Delta\sigma$, МПа	$\Delta\sigma$, %
	Температура, °C				
	4,18 °C	7,89 °C	12,3 °C		
66,46	2,9	2,8	2,7	0,2	6,8
80,50	3,6	3,5	3,4	0,2	5,5
91,93	4,1	4,0	3,8	0,3	7,0
$\Delta\sigma$, МПа	1,7	1,2	1,2		
$\Delta\sigma$, %	41,3	42,8	40,7		

Як видно з табл. та графіків на рис. 1 і 2, вологість навколишнього середовища більше впливає на міцність, ніж температура. З рис. 1 видно, що підвищена вологість навколишнього середовища позитивно впливає на клейове з'єднання деревини дуба, а саме із збільшенням вологості – міцність зростає. Під час експлуатації з мінімальною середньозваженою річною вологістю навколишнього середовища 66 % міцність для всіх трьох середньозважених річних температур знаходиться в межах 2,7-3,0 МПа. Зі збільшенням середньозваженої вологості навколишнього середовища до 92 % міцність збільшується і становить 3,8-4,0 МПа. Тобто, в разі збільшення середньозваженої вологості навколишнього середовища приблизно на 26 %, міцність збільшується на 1,1-1,2 МПа або на 41-43 % та із збільшенням вологості на 1 % міцність зростає в середньому на 0,047 МПа (1,65 %) від початкової міцності.

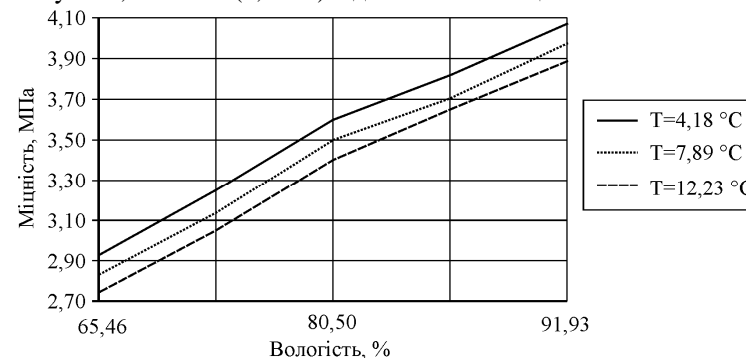


Рис. 1. Зміна міцності клейових з'єднань деревини дуба, склеєних структурованими термопластичними клеями із ступенем навантаження D4, залежно від зміни вологості

Пояснити таку поведінку клейових з'єднань деревини дуба можна тим, що згідно з теоретичними припущеннями [4, 5], завдяки гідрофільності деревини та клейового шва, волога, яка є в повітрі, сорбується у клейове з'єднання. Враховуючи склад клейової композиції на основі ПВА, будову і структуру деревини, що містять полярні групи, в тому числі і групи –ОН, які сприяють утворенню різноманітних водневих зв'язків, що веде до збільшення когезійної міцності в клейовому шві та адгезійної міцності до деревини. Тому, за умов підвищення вмісту води, яка проникає в клейове з'єднання деревини, утворюються водневі зв'язки між компонентами ПВА і клейовим швом та деревиною. Нагадаємо, що енергія додаткових водневих зв'язків хоч і невелика, і вони швидко руйнуються, але значна їх кількість приводить до зростання адгезійної і когезійної міцності. Саме завдяки надлишковій воді, яка потрапляє у клейове з'єднання, відбувається утворення достатньої кількості таких зв'язків, що приводить до збільшення міцності.

Перенасичення клейового з'єднання водою більше від гранично допустимої норми (для деревини дуба за температури +20°C ця норма становить 30 %) буде відбуватися набрякання деревини та клейового шва. Виходячи з того, що деревина дуба навіть за відносної вологості навколишнього середовища 100 %

може поглинути води стільки, що вологість деревини не перевищить межі гігроскопічності (менше 30 %), процес набрякання не відбуватиметься, тому і не зменшуватиметься адгезійна і когезійна міцність клейового з'єднання. Для того, щоб процес набрякання клейового з'єднання проходив, необхідне капілярне поглинання води, яке може проходити тільки в разі вимочування склеєних зразків. Тепер проаналізуємо як впливає температура навколишнього середовища на адгезійну і когезійну міцність з'єднань деревини дуба, склеєних структурованим клеєм (рис. 2).

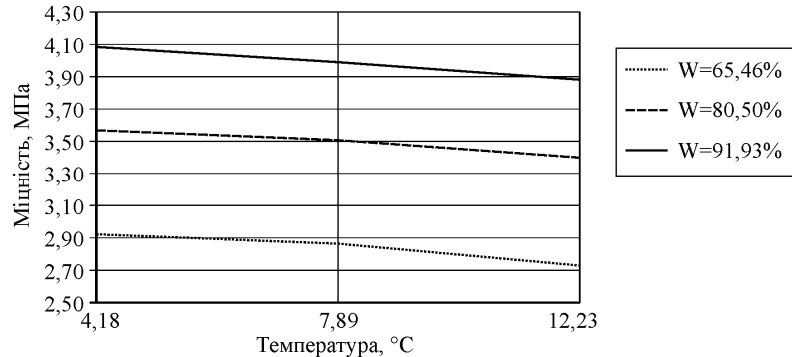


Рис. 2. Зміна міцності клейових з'єднань деревини дуба, склеєних структурними термопластичними клеями із ступенем навантаження D4, залежно від зміни температури

Як видно з рис. 2, із підвищенням середньозваженої температури від +4,8 °C до +12,23 °C міцність зменшується на 0,2-0,3 МПа або на 27 % від початкової. Тобто з підвищенням температури на 1 °C міцність знижується в середньому на 0,028 МПа (0,79 %) від початкової.

Пояснюється такий вплив температури на клейове з'єднання деревини, сформоване структурованим клеєм, також припущеннями [6, 7], згідно з якими основним компонентом клею (90 %) є ПВА та ПВС, які у природному початковому стані належать до аморфних речовин, що мають високу еластичність. Тому найкращу адгезійну і когезійну міцність з'єднання деревини, склеєні структурним клеєм, будуть мати в межах температури склування клейової композиції. У нашому випадку, враховуючи всі складові компоненти клею і рідкодіафрагму структуру клейового шва, температура склування знаходиться в межах +8 °C. За підвищених температур посилюється тепловий рух та амплітуда внутрішнього руху окремих сегментів макромолекул, збільшується гнучкість макромолекул. Рідкодіафрагма структура клейового шва дещо зменшує цю рухливість порівняно з лінійною і дає змогу до кінця компенсувати ті пружно-деформаційні навантаження, які виникають з підвищенням температури, що призводить до певного зменшення міцності.

На рис. 3 і 4 наведено результати зміни міцності для клейових з'єднань деревини дуба, склеєних неструктурованими клеями, що формують лінійну структуру клейового шва (ступінь навантаження D1), залежно від зміни вологості та температури навколишнього середовища.

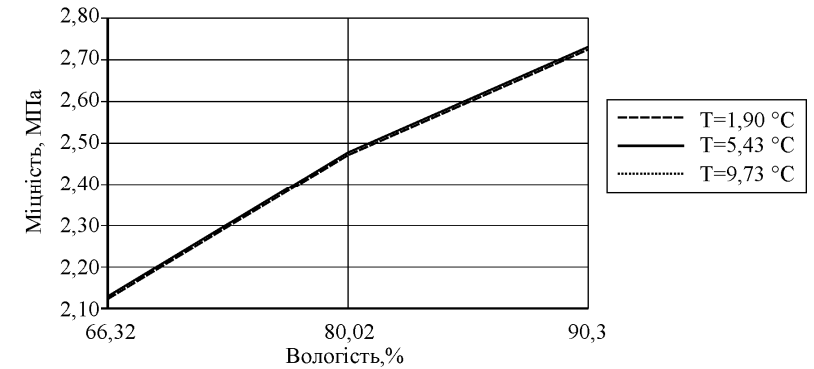


Рис. 3. Зміна міцності клейових з'єднань деревини дуба, склеєних неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1, залежно від зміни вологості

Як видно з рис. 3, міцності для клейових з'єднань деревини дуба, склеєних неструктурованими клеями, що формують лінійну структуру клейового шва, змінюються від 2,2 МПа до 2,75 МПа. Із збільшенням середньозваженої вологості навколишнього середовища від 66 % до 90 % збільшується на 0,55 МПа або на 25 %. Порівняно із з'єднаннями деревини дуба, які сформовані структурними клеями, зниження міцності менше, що зумовлено, очевидно, фізико-механічними властивостями неструктурованого клею. Хоча за характером зміни обидва клеї мають однакову залежність. Тобто із збільшенням вологості на 1 % міцність зростає на 0,023 МПа, що становить 1,04 % від початкової міцності. На рис. 4 наведено графічну інтерпретацію зміни міцності деревини дуба, склеєних неструктурованими клеями, залежно від дії температури.

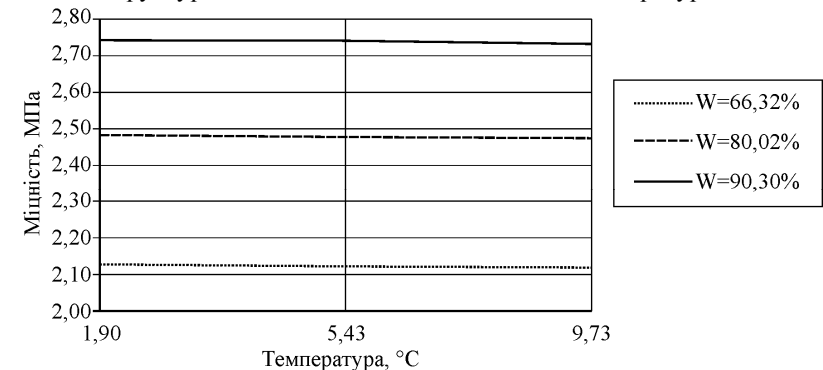


Рис. 4. Зміна міцності клейових з'єднань деревини дуба, склеєних неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1, залежно від зміни температури

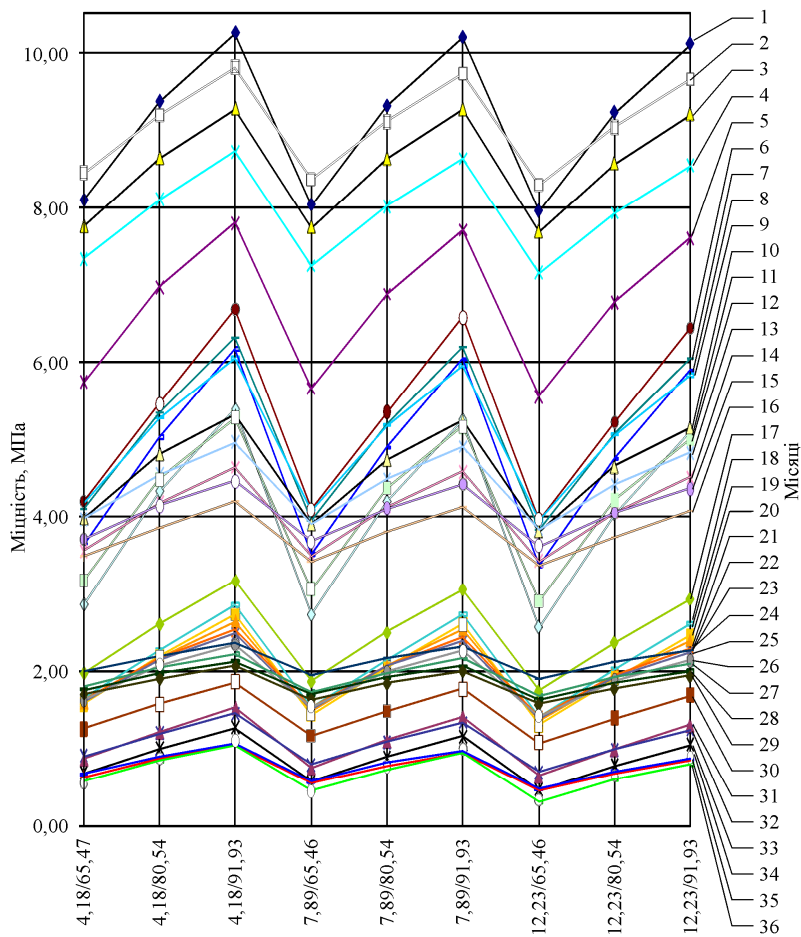
Згідно з отриманими результатами, із підвищенням температури навколишнього середовища міцність практично залишається незмінною, якщо не враховувати зміни вологості, і становить для відносної вологості повітря навколишнього середовища 66,32 % – 2,2 МПа; для вологості 80 % – 2,45 МПа і для

вологості 90 % – 2,75 МПа. Враховуючи річну середньозважену зміну вологості навколишнього середовища від 66 % до 90 %, міцність зростає від 2,2 МПа до 2,75, тобто на 25 %. Зростання міцності є дещо меншим, ніж у випадку зі структурним клеєм (на 41-43 %). Порівняно із з'єднаннями деревини дуба, склеєного структурованим клеєм, є інша відмінність, у разі використання неструктурованих клеїв міцність зі зміною температури від 1,9 до 9,73 °С залишається практично незмінною.

нішими порівняно з клейовими з'єднаннями, сформованими рідкостічастою структурою. Внаслідок цього напруження та деформації, які відбуваються за підвищення температури, більшою мірою компенсуються і є меншими за напруження, які виникають у клейових з'єднаннях з рідкостічастою структурою. Тому можна стверджувати, що клейові з'єднання деревини дуба, сформовані термопластичними клеями, які мають лінійну будову, краще переносять зміну температури експлуатації порівняно з клейовим з'єднанням, яке формує рідкостічасту структуру. Вологість навколишнього середовища також впливає на них, але меншою мірою. Цікавою є поведінка клейових з'єднань деревини дуба, сформованих структурованими термопластичними клеями в поєднанні різних температурних і вологісних діапазонів, наприклад, середньозваженої мінімальної температури та середньозваженої вологості навколишнього середовища (рис. 5).

Як бачимо з рис. 5, характер зміни міцності в разі поєднання середньозваженої температури і вологості навколишнього середовища, змінюється синусоїдально. За мінімальної температури, яка становить 4,18 °С із зміною вологості від 65,47 % до 91,93 % міцність постійно зростає незалежно від часу експлуатації. Тільки порівняно з першими місяцями експлуатації, починаючи з 15-го місяця зміна міцності буде проходити з меншою інтенсивністю. За середньозваженої вологості 65,47 % міцність є найменша незалежно від середньозваженої температури. Зі збільшенням вологості міцність зростає також незалежно від температури і стає найвищою за вологості 91,93 % [6, 7]. На рис. 6 наведено графічну інтерпретацію зміни міцності для клейових з'єднань деревини дуба, склеєної неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1.

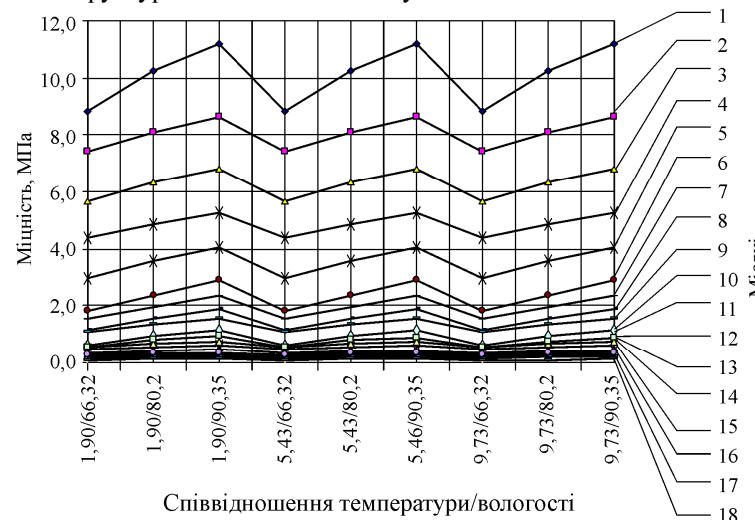
Як бачимо з рис. 6, характер зміни міцності в разі поєднання середньозваженої температури і вологості навколишнього середовища для деревини дуба, склеєної неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1, залежно від поєднання зміни температури та вологості



Співвідношення температури/вологості

Рис. 5. Зміна міцності клейових з'єднань деревини дуба, склеєних структурованими клеями із ступенем навантаження D4, залежно від поєднання зміни температури та вологості

Таку поведінку клейових з'єднань деревини дуба із використанням термопластичних неструктурованих клеїв, які несуть навантаження D1, можна пояснити лінійною структурою клейового шва – такі клейові з'єднання є еластич-



Співвідношення температури/вологості

Рис. 6. Зміна міцності клейових з'єднань деревини дуба, склеєних неструктурованими клеями із ступенем навантаження D1, залежно від поєднання зміни температури та вологості

Як бачимо з рис. 6, характер зміни міцності в разі поєднання середньозваженої температури і вологості навколишнього середовища для деревини ду-

ба, склеєної термопластичними неструктурованими клеями, за характером зміни нагадує зміну міцності для деревини дуба, яка склеєна структурованими термопластичними клеями. Найменша міцність клейового з'єднання незалежно від температури спостерігається за вологості 66,32 %. Із збільшенням вологості міцність зростає за будь-якої температури і досягає найбільшого значення за максимальної вологості 90,35 %.

Тобто ми знову отримали 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 слабшим, тобто зі збільшенням вологості міцність збільшується, але з меншою інтенсивністю. Тобто, залежність міцності неструктурованих клейових з'єднань від температурно-вологісних навантажень є подібною до аналогічної залежності структурованих клейових з'єднань.

Підсумовуючи зазначимо, що за допомогою математичної моделі здійснено прогнозування та дослідження зміни міцності для клейових з'єднань деревини дуба склеєної структурованими і неструктурованими ПВА клеями. За результатами досліджень міцності встановлено, що термопластичні клейові з'єднання деревини дуба краще будуть експлуатуватися за від'ємних температур та підвищеної вологості навколишнього середовища.

Література

1. 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.
2. Патент на корисну модель № 45134 Україна, МПК B23V 21/00. Спосіб прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини дуба клеями на основі полівінілацетату / Б.Я. Кшивецький, П.А. Бехта (Україна); Заявл. 29.05.2009; Опубл. 26.10. 2009, Бюл. № 5.
3. Кшивецький Б.Я. Прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини клеями на основі полівінілацетату / Б.Я. Кшивецький, П.А. Бехта // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во НЛТУ України. – 2009. – Вип. 35. – С. 84-89.
4. Кшивецький Б.Я. Температурно-вологісна стійкість клейових з'єднань на термопластичній основі / Б.Я. Кшивецький, О.П. Гупало // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2002. – Вип. 12.5. – С. 26-28.
5. Кшивецький Б.Я. Механізм формування термопластичних клейових з'єднань деревини / Б.Я. Кшивецький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.12. – С. 117-122.
6. 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.
7. Kshyvetskyy B. Prediction of durability of adhesive joints of oak timber by polyvinyl acetate-based adhesives / B. Kshyvetskyy, O. Kiyko, Y. Sokolovsky // Pokroky vo vyrobe a pozuiti lepidiel v drevo priemysle (adhesives in woodworking industry). Technical University in Zvolen (Slovakia). Proceedings of the XXI symposium. Vydavatelstvo TU Zvolen. – 2013. – С. 122-127.

Кшивецький Б.Я. Влияние влажности и температуры на прочность термопластичных клеевых соединений древесины лиственных пород

На примере древесины дуба, приведены результаты исследований влияния влажности и температуры окружающей среды на прочность поливинилацетатных клеевых соединений лиственных пород древесины. Для исследований использована математи-

ческая модель прогнозирования прочности термопластичных клеевых соединений древесины. Осуществлен анализ полученных результатов прогнозирования прочности клеевых соединений древесины дуба. Исследовано влияние строения и структуры древесины дуба, химических компонентов структурированных и неструктурированных поливинилацетатных клеев на прочность клеевых соединений при эксплуатации. Установлена закономерность изменения прочности термопластичных поливинилацетатных клеевых соединений древесины дуба в зависимости от изменения влажности и температуры окружающей среды.

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

Kshyvetsky B.Ya. The Effect of Moisture and Temperature on the Strength of Thermoplastic Adhesive Hardwood Joints

The results of studies of the effect of atmospheric moisture and ambient temperature on the strength of polyvinyl acetate adhesive joints of hardwoods on the example of oak wood are given. A mathematical model for predicting the strength of thermoplastic adhesive wood joints is used. The results of predicting the strength of adhesive oak wood joints are analyzed. The influence of oak wood structure as well as chemical components of structured and unstructured polyvinyl acetate adhesives on the strength of adhesive joints during operation is investigated. The pattern of change in the strength of thermoplastic polyvinyl acetate adhesive oak wood joints depending on varying atmospheric moisture and ambient temperature is established.

Key words: adhesive, wood, strength, moisture, temperature, adhesive joints, predicting, water resistance, heat resistance.

УДК 502.17

Проф. О.М. Мандрик, д-р техн. наук –
Івано-Франківський НТУ нафти і газу

АНАЛІЗ ПРИЧИН АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ТА РУЙНУВАНЬ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ

Проаналізовано основні причини виникнення аварійних ситуацій на магістральних газопроводах. Встановлено, що у зв'язку зі старінням газотранспортної мережі та недосконалістю державного контролю за її безпекою, останніми роками спостерігається збільшення кількості аварій на газопроводах України. Узагальнений аналіз причин руйнування засвідчив різну їх специфіку та структуру залежно від географічного положення, кліматичних умов їх експлуатації та підходів до оцінювання аварійних ситуацій. Встановлено основні фактори, що сприяють підвищеній схильності металу трубопроводу до стрес-корозійного розтріскування, що потребує розроблення комплексно-методу оцінювання та прогнозування їх безпечної експлуатації.

Ключові слова: екологічна безпека, аварійні ситуації, руйнування, газопроводи.

Актуальність. Газотранспортна система (ГТС) України складається з 38,55 тис. км газопроводів з компресорними станціями, 13 підземних сховищ газу, мережі газорозподільних і газовимірювальних станцій. Магістральні трубопроводи є найбільш капіталомісткими елементами газового комплексу держави. Оскільки вартість нового газопроводу на порядок вища від раніше побудованого, то економічно доцільно, спираючись на дані технічного та екологічного моніторингу, максимально продовжити технологічну та екологічно-безпечну експлуатацію газопровідних систем.

У зв'язку зі старінням газотранспортної мережі та недосконалістю державного контролю за її безпекою, останніми роками спостерігається збільшення кількості аварій на газопроводах України (розрив труб через просідання