

М.В. Чернявський, Ю.Ю. Дербаль та ін.; за ред. Г.Т. Криницького, М.В. Чернявського. – Ужгород : ПП "Коло", 2014. – 278 с.

5. Лісове господарство України. – К. : Видавничий дім "ЕКО-інформ". – 2006. – 52 с.

6. Луцiv Н.Г. Еколого-економічна оцінка запровадження наближеного до природи лісівництва в ялицево-букових лісостанах ДП "Стрийське лісове господарство" / Н.Г. Луцiv, Я.П. Целень, Г.Т. Криницький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.3. – С. 90-95.

7. Мазур Ф.Ф. Соціально-екологічні умови розвитку рекреаційної індустрії: на прикладі Карпатського регіону / Ф.Ф. Мазур. – К. : Центр навч. л-ри, 2005. – 96 с.

8. Природа Українських Карпат / за ред. К.І. Геренчука. – Львів : вид-во Львівського ун-ту, 1968. – 265 с.

9. Стойко С.М. Національні парки – природна реліквія біосфери та їхнє багатогранне значення / С.М. Стойко // Роль гірських резерватів і національних парків у збереженні природної спадщини гірських регіонів: матер. міжнарод. наук. – практич. конф., присвяч. 10-й річч. створення Ужанського національного природного парку. – Ужгород, 2009. – С. 239-245.

10. Туниця Ю.Ю. Природна економіка і наближене до природи лісівництво: ідентичність концепцій та можливості їхнього взаємозбагачення / Ю.Ю. Туниця // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 9. – С. 14-20.

11. Чернявський М.В. Наближене до природи ведення лісового господарства в Україні / М.В. Чернявський // Лісовий і наслідивський журнал. – 2008. – № 1. – С. 14-17.

12. Чернявський М.В. Наближене до природи ведення лісового господарства в Україні / М.В. Чернявський, Г.Т. Криницький, В.І. Парпан // Наукові праці Лісівничої академії наук України : зб. наук. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 9. – С. 29-35.

13. Шеляг-Сосонко Ю.Р. Ліси України. Сучасний стан, збереження, використання / Ю.Р. Шеляг-Сосонко, С.М. Стойко, Л.П. Вакаренко. – К. : Ін-т ботаніки, 1996. – 32 с.

### **Луцiv Н.Г. Эколого-экономические особенности рекреационного развития Карпатского региона**

Проанализированы эколого-экономические особенности рекреационного развития Карпатского региона. Отмечено, что вмешательство человека в жизнедеятельность природных экосистем должно осуществляться на принципах "естественной экономики", которая в наибольшей степени соответствует законам природы. В горных условиях Карпат рекреационное пользование природной средой меньше нарушает структуру и функционирование биотопов и способствует развитию региона. Описан рекреационный потенциал Карпатского региона, формирующийся высокой лесистостью территории, значительным количеством национальных природных парков, развитой сетью рек и потоков, наличием уникальных лечебных минеральных вод, большими природно-ресурсными возможностями для организации зимних видов рекреационной деятельности, богатством историко-культурных рекреационных ресурсов.

**Ключевые слова:** эколого-экономические особенности, Карпатский регион, рекреационный потенциал.

### **Luciv N.G. Some Ecological and Economic Features of Recreation Development of the Carpathians Region**

The analysis of ecological and economic features of recreation development of the Carpathian region is presented. It is marked that interference of man with the vital functions of natural ecological systems must be carried out on principles of "natural economy" which mostly complies with the laws of nature. In the mountain terms of the Carpathians Mountains the recreation use least violates a structure and functioning of biotops a natural environment and assists the development of the region. Recreation potential of the Carpathians region, which is formed due to high forestation of its territory, a significant number of national natural parks, developed network of the rivers and streams, presence of unique medical mineral water, strong natural resource possibilities for organization of winter types of recreation activity, and the abundance of historical and cultural recreation resources, is described.

**Keywords:** ecological and economic features, the Carpathian region, recreation potential.

## **3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ**

УДК 674.04

Проф. Б.Я. Кишинецький, д-р техн. наук;

асист. В.Р. Солонинка, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

### **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВИНИ В САД/САЕ СИСТЕМАХ**

Наведено результати імітаційного моделювання термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини з використанням САД/САЕ систем. Розроблено алгоритм імітаційного моделювання в САД/САЕ системах напружено-деформаційного стану термопластичних клейових з'єднань деревини залежно від зміни температури та вологості. Доповнено бібліотечну базу даних САД/САЕ систем фізико-механічними та фізико-хімічними характеристиками різних порід деревини та клейовими матеріалами на термопластичній основі. Розроблений алгоритм імітаційного моделювання та сформована база даних дає змогу моделювати зміну вологості, температури та напружено-деформаційного стану у будь-якій точці термопластичного клейового з'єднання деревини залежно від зміни вологості та температури.

**Ключові слова:** моделювання, алгоритм, міцність, довговічність, напружено-деформаційний стан, клей, деревина, вологість, температура, клейові з'єднання, прогнозування.

Довговічність клейових з'єднань деревини можна прогнозувати за двома методиками, а саме за методикою, в якій не враховують дію зовнішніх сил і за методикою, в якій враховують тривалі навантаження. Для термопластичних клейових з'єднань деревини прогнозування довговічності здійснюють за методикою, яка не враховує дії зовнішніх сил. Згідно з цією методикою, під час прогнозування довговічності враховують дію атмосферних факторів, оскільки для таких клейових з'єднань не передбачені тривалі навантаження [1, 2].

Результати аналізу методів прогнозування довговічності клейових з'єднань засвідчили, що вони базуються на процесах деструкції, старіння, відшарування, теплового руху атомів і використовуються, зазвичай, для з'єднань деревини, склеєних термореактивними клеями. Крім цього, всі вони описують окремо взятий фізичний або хімічний процес, який може відбуватися в деревині або клейовому шві. Тобто вони не враховують фізико-механічних та фізико-хімічних процесів, які будуть відбуватися одночасно у деревині та клейовому шві за циклічної дії вологості і температури навколишнього середовища. Тому ці методи прогнозування довговічності не є точними.

Термопластичні клейові з'єднання деревини потребують особливого підходу до прогнозування довговічності, оскільки вплив вологості і температури навколишнього середовища призводить до зміни напружено-деформаційного стану як деревини, так і клею, і будуть характеризуватися їхньою втомою. Тобто фізико-механічні процеси відрізнятимуться від процесів старіння та деструкції, які характеризують термореактивні клейові з'єднання деревини. Тому використовувати для прогнозування довговічності термопластичних клейових з'єднань деревини методи прогнозування довговічності для термореактивних клейових з'єднань не буде коректно [3, 4].

Прогнозувати довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини можна на основі всебічного вивчення фізико-хімічних і фізико-механічних процесів, які будуть відбуватися у клейовій плівці та деревині. Для цього використано як експериментальні дослідження довговічності клейових з'єднань деревини, так і сучасні методи досліджень процесів руйнування твердих матеріалів, які ґрунтуються на математичному моделюванні [5, 6].

Для того, щоб прогнозувати довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини потрібно математично описати та змоделювати зміну напружено-деформаційного стану клейового з'єднання під час експлуатації. Враховуючи складність фізико-механічних процесів у термопластичних клейових з'єднаннях деревини під час експлуатації, використано сучасні методи математичного та імітаційного моделювання, які дали змогу описати фізико-механічні та пружно-деформаційні процеси у деревині та клейовій плівці за циклічної дії вологості і температури навколишнього середовища [7].

Пружно-деформаційні процеси у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини під час експлуатації досліджували за допомогою імітаційного моделювання з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). Цей метод застосовують для розв'язання задач з механіки твердого тіла та побудови для них алгоритмів. В основі МСЕ лежить дискретизація об'єкта на елементарні області, які називають скінченими елементами [8]. У нашому випадку метод скінченних елементів для інтерполяції виконано в програмному забезпеченні CAD/CAE системах, а саме "SolidWorks" та "COSMOSWorks".

Систему "SolidWorks" створено для твердотільного параметричного моделювання і вона має найбільш розвинену можливість для створення і редагування поверхонь та спільного оброблення поверхонь і твердих тіл. Ця система має всю потрібну номенклатуру інструментів, які є ефективними для різних об'єктів, і дає змогу створювати їх конфігурацію [9].

Для програмного забезпечення та вирішення задач з розрахунків статистичної міцності і стійкості лінійних і нелінійних задач, оптимізації форми їх збирання в лінійній постановці, аналізу втоми і поведінки конструкцій використано програмне забезпечення "COSMOSWorks". Це програмне забезпечення застосовують для вирішення задач з розрахунку на статистичну міцність і стійкість у лінійному і нелінійному розв'язках, виділенні власних частот, оптимізації форми деталей і складання в лінійну постановку, аналізу втоми і поведінки конструкцій в разі удару. Пакет комп'ютерного забезпечення систем SolidWorks та COSMOSWorks, на сьогодні, використовують для імітаційного моделювання металів і пластичних мас, для яких є бібліотечна база основних фізико-механічних та фізико-хімічних характеристик. Для деревини та клеїв такої бібліотечної бази даних не існує.

Тому для використання системи "SolidWorks" та "COSMOSWorks" під час моделювання температури, напружень та деформацій у термопластичних клейових з'єднаннях деревини наявну бібліотечну базу даних доповнено фізико-механічними та фізико-хімічними характеристиками деревини та клейових матеріалів на термопластичній основі. Після цього розроблено алгоритм процесу імітаційного моделювання для термопластичних клейових з'єднань деревини, який наведено на рис. 1:

- Вводяться вхідні дані;
- Формується індексна матриця;
- Визначаються переміщення в середині конструкції;
- Формується цикл за часом;
- Формується цикл за елементами, який охоплює:

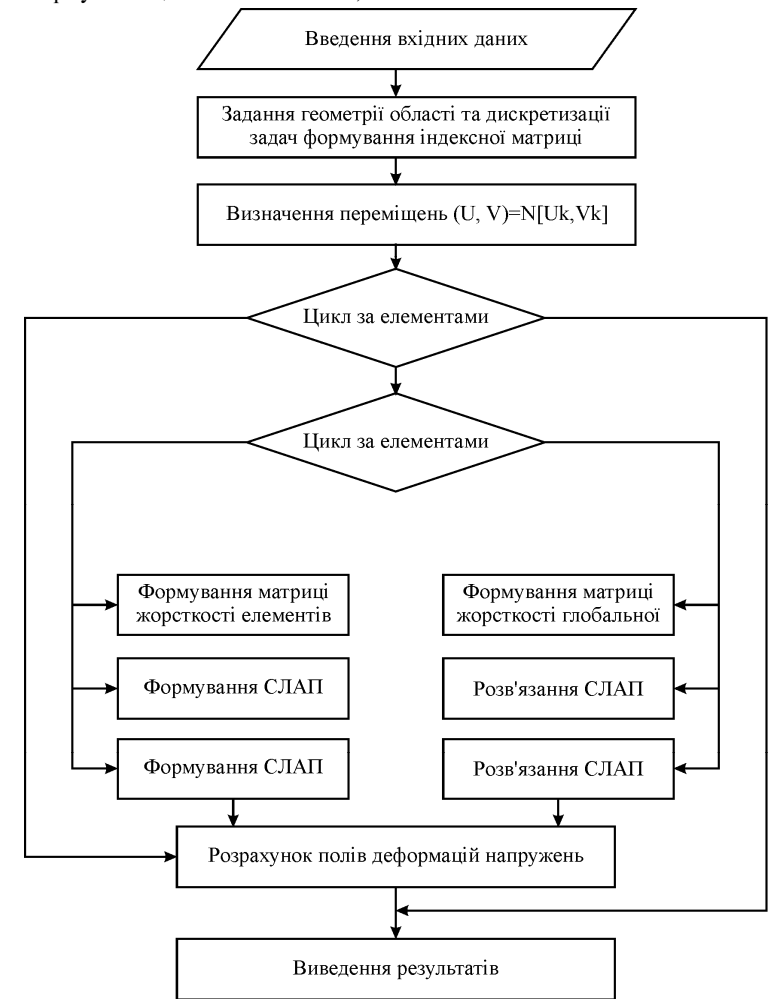


Рис. 1. Алгоритм для імітаційного моделювання

Відповідно до розробленого алгоритму виконуються такі завдання:

1. Формування матриці жорсткості;
2. Формування системи лінійних алгебраїчних розв'язків (СЛАП);
3. Формування системи матриці жорсткої глобальної;
4. Формування системи лінійних алгебраїчних розв'язків.
5. Ведеться розрахунок полів і деформацій.
6. Виведення результатів.

Сформована база даних та розроблений алгоритм імітаційного моделювання дає змогу моделювати зміну вологості, температури та напружено-деформаційного стану у будь-якій точці термопластичного клейового з'єднання деревини, враховуючи при цьому циклічну дію вологості та температури навколишнього середовища.

На основі математичних розрахунків вологоперенесення, теплоперенесення та напружень, з використанням програмного забезпечення інтегральних CAD/CAE систем, здійснено імітаційне моделювання напружено-деформаційного стану у термопластичних клейових з'єднаннях деревини. Зміну температури та напружень у термопластичних клейових з'єднаннях деревини визначали на границі розподілу деревина-клей, на відстані 0,5 мм від клейового шва по деревині та по середині клейового шва. Такі площини вибрані на основі аналізу фізико-хімічних та фізико-механічних процесів і наведено на рис. 2-4.

Як видно з наведених графіків, тривала дія температур на клейове з'єднання деревини призводить до зміни температури як деревини, так і клейового шва. Різниця є між температурою в середині зразка та на його поверхні, як у деревині так і в клею. Така зміна температури у середині зразка відбувається у трьох площинах клейового з'єднання. Аналогічні імітаційні залежності зміни пружно-деформаційного стану у термопластичних клейових з'єднаннях деревини наведено на рис. 5-7 за температури нагрівання 100 с.

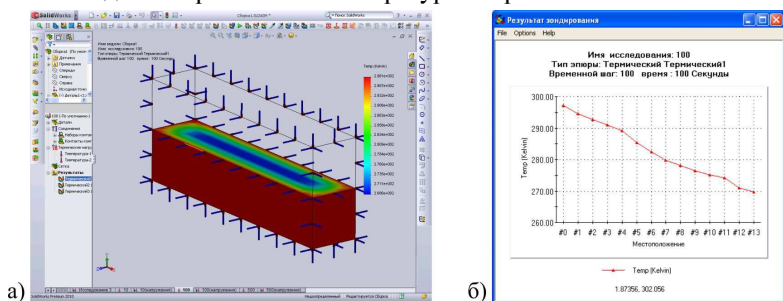


Рис. 2. Розподіл температури у термопластичних клейових з'єднаннях деревини на границі деревина-клей за нагрівання протягом 100 с: а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

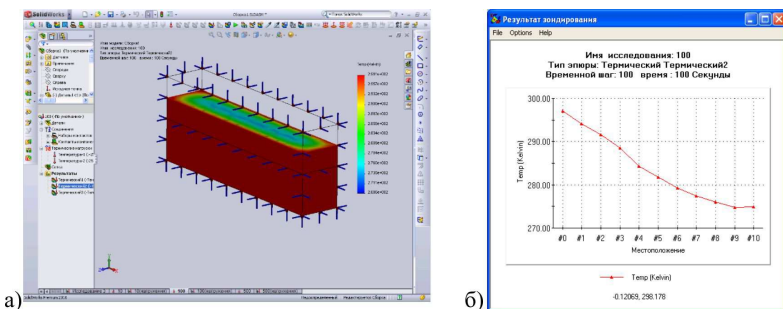


Рис. 3. Розподіл температури у термопластичних клейових з'єднаннях деревини на відстані 0,5 мм від клейового шару за нагрівання протягом 100 с: а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

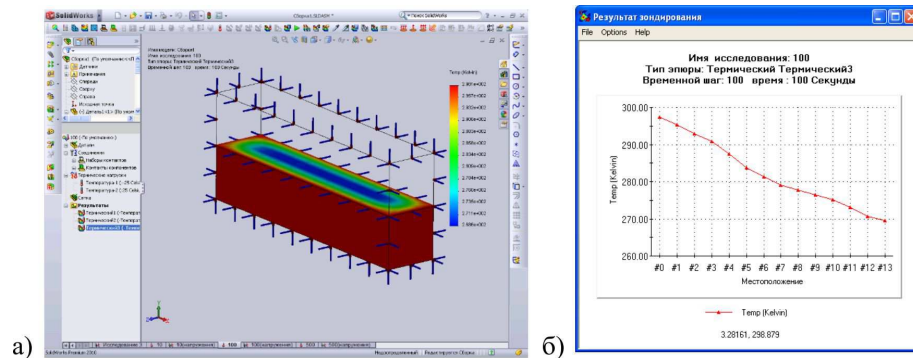


Рис. 4. Розподіл температури в клейовому з'єднанні деревини по середині клейового шару за нагрівання протягом 100 с: а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

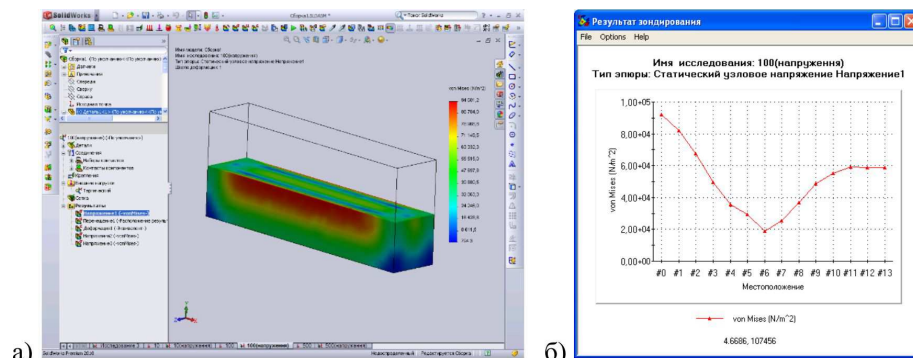


Рис. 5. Розподіл напружень у термопластичних клейових з'єднаннях деревини на границі деревина-клей за нагрівання протягом 100 с: а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

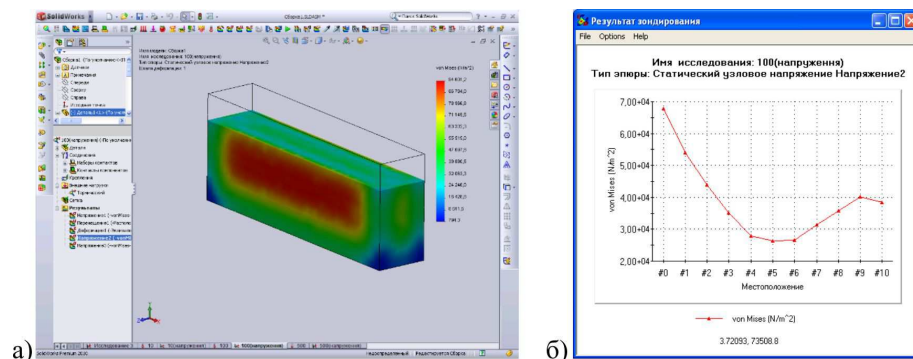


Рис. 6. Розподіл напружень у термопластичних клейових з'єднаннях деревини на відстані 0,5 мм від клейового шару за нагрівання протягом 100 с: а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

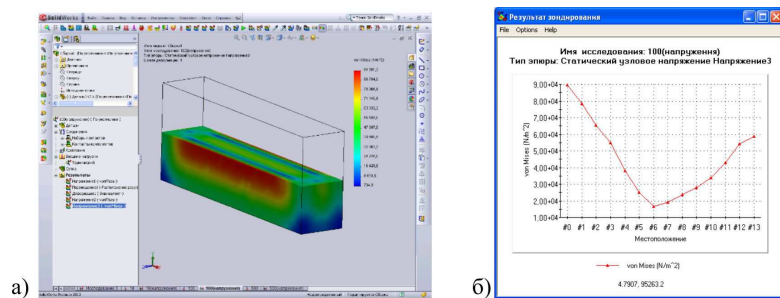


Рис. 7. Розподіл напружень в клейовому з'єднанні деревини по середині клейового шару за нагрівання протягом 100 с: а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

Як видно з рис. 5-7, тривале нагрівання клейового з'єднання деревини протягом 100 с призводить до значної зміни температури як деревини, так і клею. В основному, різниця між температурою в середині зразка як у деревині, так і в клею не перевищує 0,01 °K і змінюється по периметру зразка. Аналогічна зміна температури у середині зразка відбувається у трьох площинах клейового з'єднання.

Пружно-деформаційний стан термопластичного клейового з'єднання деревини за нагрівання 100 с буде змінюватись практично однаково незалежно від площини, що досліджується.

Отже, можна зробити висновок, що із збільшенням тривалості нагрівання термопластичних клейових з'єднань деревини до 100 с, збільшується зона нагрівання як деревини, так і клею. Разом з тим змінюються і напруження, які виникають із висиханням деревини та пластичністю клейового шва.

### Література

1. Фрейдин А.С. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины / А.С. Фрейдин, К.Т. Вуба. – М.: Изд-во "Лесн. пром-сть", 1980. – 223 с.
2. Хрулев В.М. Долговечность клееной древесины / В.М. Хрулев. – М.: Изд-во "Лесн. пром-сть", 1971. – 160 с.
3. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А.С. Фрейдин. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М.: Изд-во "Химия", 1981. – 270 с.
4. Кшивецкий Б.Я. О долговечности клеевых соединений в деревообработке / Б.В. Прокопович, О.П. Гупало // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. – Брянск (РФ) : Изд-во БГИТА. – 2001. – Вып. 4. – С. 61-64.
5. Кшивецкий Б.Я. Моделирование напряжений у термопластичных клейовых з'єднань деревини / Б.Я. Кшивецкий, М.Г. Чаусов // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во НЛТУ України. – 2012. – Вип. 38. – С. 65-69.
6. Кшивецкий Б.Я. Дослідження довговічності з'єднань твердолистяних порід деревини клеями на основі полівінілацетату / Б.Я. Кшивецкий // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.7. – С. 99-103.
7. Кшивецкий Б.Я. Прогнозування довговічності термопластичних клейових з'єднань деревини за допомогою математичної моделі / Б.Я. Кшивецкий // Проблеми трибології: міжнародний науковий журнал. – Хмельницький НУ. – 2012. – № 4. – С. 38-42.
8. Морозов Е.М. Метод конечных элементов в механике разрушения / Е.М. Морозов. – М.: Изд-во "Наука", 1980. – 256 с.
9. Алямовский А.А. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: Изд-во "БХВ-Петербург", 2005. – 800 с.

### Кшивецкий Б.Я., Солонинка В.Р. Имитационное моделирование термопластических клеевых соединений древесины в CAD/CAE системах

Приведены результаты имитационного моделирования термопластических поливинилацетатных клеевых соединений древесины с использованием CAD/CAE систем. Разработан алгоритм имитационного моделирования в CAD/CAE системах напряженно-деформационного состояния термопластических клеевых соединений древесины в зависимости от изменения температуры и влажности. Дополнена библиотечная база данных CAD/CAE систем физико-механическими и физико-химическими характеристиками различных пород древесины и клеевых материалов на термопластической основе. Разработанный алгоритм имитационного моделирования и сформированная база данных позволяют моделировать изменение влажности, температуры и напряженно-деформационного состояния в любой точке термопластического клеевого соединения древесины в зависимости от изменения влажности и температуры.

**Ключевые слова:** моделирование, алгоритм, прочность, долговечность, напряженно-деформационное состояние, клей, древесина, влажность, температура, клеевые соединения, прогнозирование.

### Kshyvetskyy B.Ya., Solonynka V.R. Simulation Modeling of Thermoplastic Adhesive Wood Joints Using CAD/CAE Systems

Some results of simulation modeling of thermoplastic polyvinyl acetate adhesive wood joints using CAD/CAE systems are presented. Based on CAD/CAE systems, an algorithm has been developed for simulation modeling of stress-strain state in thermoplastic adhesive wood joints depending on ambient temperature and humidity. The library database of CAD/CAE systems was supplemented by physical-and-mechanical and physical-and-chemical characteristics of various wood species and thermoplastic glue mixes. The developed algorithm allows for simulating changes in moisture content, temperature, and stress-strain state at any point of the thermoplastic adhesive wood joints depending on varying ambient temperature and humidity.

**Keywords:** modeling, algorithm, strength, durability, stress-strain state, adhesive, wood, humidity, adhesive joint, temperature, prediction.

УДК 674.002.5:620.19

Аспір. В.В. Войтович;

проф. В.В. Шостак, д-р техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

### СТРУКТУРА РЕМОНТНОГО ЦИКЛУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СТРІЧКОПИЛКОВОГО ВЕРСТАТА

В основі проблеми керування технічним станом верстатів під час їх експлуатації лежить розроблення обґрунтованої структури ремонтного циклу. Описано результати моделювання за методом Монте-Карло зміни технічного стану верстата як складної ремонтної системи. Визначено рівняння регресії параметра потоку відмов верстата як функції від часу оперативної роботи верстата. Обґрунтовано структуру ремонтного циклу та його параметри. Рекомендовано тривалість міжоглядових та міжремонтних періодів і тривалість ремонтного циклу.

**Ключові слова:** стрічкопильковий верстат, структура ремонтного циклу, параметр потоку відмов, модулювання, ремонт, оптимізація.

**Постановка проблеми.** Підвищення надійності вітчизняного деревообробного обладнання є ключовою проблемою з погляду розвитку економічного потенціалу і переходу до нових форм господарського розрахунку на деревообробних підприємствах. Керування технічним станом верстатів під час експлуатації визначається передусім стратегією технічного обслуговування і ремонту, побудованою на науково обґрунтованій структурі ремонтного циклу. Насамперед це стосується нових типів верстатів, що почали випускати в Україні.