

destruction. The tests are carried out at four fixed temperatures and a constant rate of increase in load. At the same time, the time until the destruction of each sample is recorded.

Moreover, the values of the thermo-activation parameters are determined on the basis of the results of the tests carried out by solving the proposed system of equations that closes the defining Zhurkov equation.

Thus, the use of express methodology allows predicting the durability a laminated particle board under specific conditions of their operation. The result of the forecast can be used as an objective criterion of efficiency, both in the optimization of existing furniture products, and in the design of new ones.

Examples of application of the method for specific composite materials based on wood are given. The complexity of the method is much less than the traditional methods for determining the thermo-activation parameters, while maintaining practically the same accuracy of their determination.

Keywords: *kinetic theory of strength, methods of determining the activation energy, rapid method for determining the thermal activation parameters.*

УДК 684.817-027.45: 624

**ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
ДЕРЕВИННОВОЛОКНИСТИХ ПЛИТ СЕРЕДНЬОЇ ЩІЛЬНОСТІ У
ВИРОБАХ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

М. Г. ЧАУСОВ, доктор технічних наук, професор кафедри механіки

Л. М. БОЙКО, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології
деревообробки,

О. В. АНЦИФЕРОВА, асистент кафедри технології деревообробки

Національний університет біоресурсів і природокористування України

С. З. САГАЛЬ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

Голова правління ЗАТ «Український інститут меблів»

E-mails: interdesign@ukr.net, antsyferova.av@gmail.com

Анотація. *Наведено основні результати дослідження довговічності плит MDF (Medium Density Fiberboard), що ґрунтується на термофлуктуаційній (кінетичній) теорії міцності. Базуючись на положеннях кінетичної теорії, було розроблено алгоритм, який дає змогу прогнозувати термін служби деревинноволокнистих плит середньої щільності різного виду захисно-декоративного покриття та товщини та передбачає прискорений спосіб визначення термоактиваційних параметрів матеріалу. У статті запропоновано новий підхід до вивчення закономірностей руйнування деревиннокомпозиційних матеріалів, а також прогнозування параметрів працездатності композиційних матеріалів на основі*

деревини, який пов'язаний з вивченням поведінки внутрішніх констант матеріалу, що визначають ці параметри. Запропонований метод дає змогу, окрім навантаження, яке діє на конструкцію чи матеріал, враховувати вплив температури та вологості навколишнього середовища. Визначено фізичні параметри довговічності чорнового покриття для підлоги залежно від товщини матеріалу, що використовується у конструкції.

Ключові слова: *деревиннокомпозиційні матеріали, деревина, метод оцінювання, довговічність, термофлуктаційна теорія, прогнозування.*

Актуальність. Україна належить до малолісистих держав, тому перспективним напрямом використання деревини на сьогодні є її комплексна переробка, зокрема виготовлення деревиннокомпозиційних матеріалів – личкованих стружкових та деревноволокнистих плит тощо. Личковані стружкові плити найбільше використовуються меблевою промисловістю у виготовленні корпусних меблів. Також поряд із личкованими стружковими плитами у виробництві виробів із композиційних матеріалів на основі деревини набули поширення деревноволокнисті плити середньої щільності, або плити MDF. Найширше застосування плити MDF мають у будівельній галузі, з них виготовляють ламінат або ламіновані підлоги, стінові панелі, застосовують у вигляді балок, також поступово розширюється застосування плит MDF у меблевій промисловості: з матеріалу виготовляють не лише фасадні поверхні, а й конструктивні елементи корпусу та вироби у цілому [1]. Переваги матеріалу (вологостійкий, дуже легко надати будь-яку форму, легко фарбується і ламінується) зумовлюють все більше використання у виробництві виробів. Тому постає питання створення нетрудомісткої методики прогнозування довговічності матеріалу при заданих умовах експлуатації, що дасть змогу виробникам зменшити матеріалоємність виробів із MDF, і, відповідно сприятиме меншому використанню деревної сировини у виробництві композиційних матеріалів на основі деревини. Із відомих методів найбільш достовірні значення довговічності матеріалів можливо отримати за допомогою кінетичної теорії міцності твердих тіл, що заснована на термоактиваційному механізмі руйнування. Кінетична модель об'єднує вплив на довговічність не тільки зовнішніх факторів, а саме навантаження і температуру, а й термоактиваційних параметрів, які характеризують внутрішній, енергетичний потенціал. Тому термофлуктаційна (кінетична) модель більш інформативна і дає змогу дослідити поведінку матеріалів, під час навантаження залежно від їхніх внутрішніх властивостей.

Мета дослідження – оцінювання довговічності деревноволокнистих плит середньої щільності шляхом прогнозування заданого терміну їхньої експлуатації, що базується на термофлуктаційній (кінетичній) теорії міцності.

Матеріали та методи дослідження. Зразки для досліджень було виготовлено згідно з [2], таких розмірів: для товщини 10 мм – 250×50 мм; для товщини 16 мм – 370×50 мм; для товщини 19 мм – 430×50 мм. Для визначення рівнів та інтервалів змінювання факторів на першому етапі

досліджень було проведено попередні дослідження. Постійними факторами були прийняті: напружений стан; розміри зразків; схема навантаження; вологість навколишнього середовища. Змінними були прийняті: товщина плити, вид плити МДФ, а саме без покриття, опоряджені матовою фарбою, личковані шпоном фاین-лайн; напруження та температура.

Результати дослідження. Провівши дослідження [3], ми встановили, що руйнування плит MDF має термоактиваційний характер, та кінетична модель може бути вико/ристана для прогнозування строку служби (довговічності) виробів з MDF **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**, яка має вигляд:

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{R} (T^{-1} - T_m^{-1}) \right] \exp \left(\alpha \frac{W}{W_m} \right), \quad (1)$$

де T_m , U_0 , γ і T_m – термоактиваційні параметри матеріалу: T_m – мінімальна довговічність (період коливання кінетичних одиниць – атомів, груп атомів, сегментів), с; U_0 – максимальна енергія активації руйнування, кДж/моль; γ – структурно-механічний параметр, кДж/(моль·МПа); T_m – гранична температура існування твердого тіла (температура деструкції), К; R – універсальна газова стала, кДж/(моль·К); τ – час до руйнування (довговічність), с; σ – напруження матеріалу при його експлуатації, МПа; T – поточна температура матеріалу при його експлуатації, К; α – коефіцієнт, що враховує вплив вологості матеріалу на довговічність; W_m – гранично допустима вологість матеріалу, за якої він має достатні для експлуатації властивості міцності, %; W – поточна вологість матеріалу при його експлуатації, %;

Працездатність конструкційного матеріалу описується трьома параметрами: довговічність, міцність і термостійкість. З формули довговічності можна вивести два інші параметри працездатності, які описуються рівняннями (2) та (3) [5]:

$$\sigma = \frac{1}{\gamma} \left(U_0 - \frac{2,3RT}{T_m} \lg \frac{\tau}{T_m} \right) \quad (2)$$

$$T = \left(\frac{1}{T_m} + \frac{2,3R}{U_0 - \gamma \sigma} \lg \frac{\tau}{T_m} \right)^{-1} \quad (3)$$

Вищенаведені формули показують, що параметри працездатності визначаються групою деяких фізичних (внутрішніх) констант матеріалу, які вказані у вищенаведених формулах [5].

Проведені дослідження довговічності деревинноволокнистих плит середньої щільності показали, що на внутрішні константи матеріалу впливають різноманітні фактори: структура матеріалу, його товщина, щільність матеріалу, наявність захисно-декоративного покриття, наявність впливу температури, напруження та вологості повітря. Ці фактори впливають і на працездатність матеріалів. Результатами досліджень встановлено, що параметри працездатності збільшуються для матеріалів, які мають захисно-декоративне покриття або облицьовані натуральним шпоном [3]. Алгоритм розрахунку довговічності виробів, що виготовлені або будуть запроектовані з деревинноволокнистих плит середньої щільності, складається з таких етапів (рис. 1):

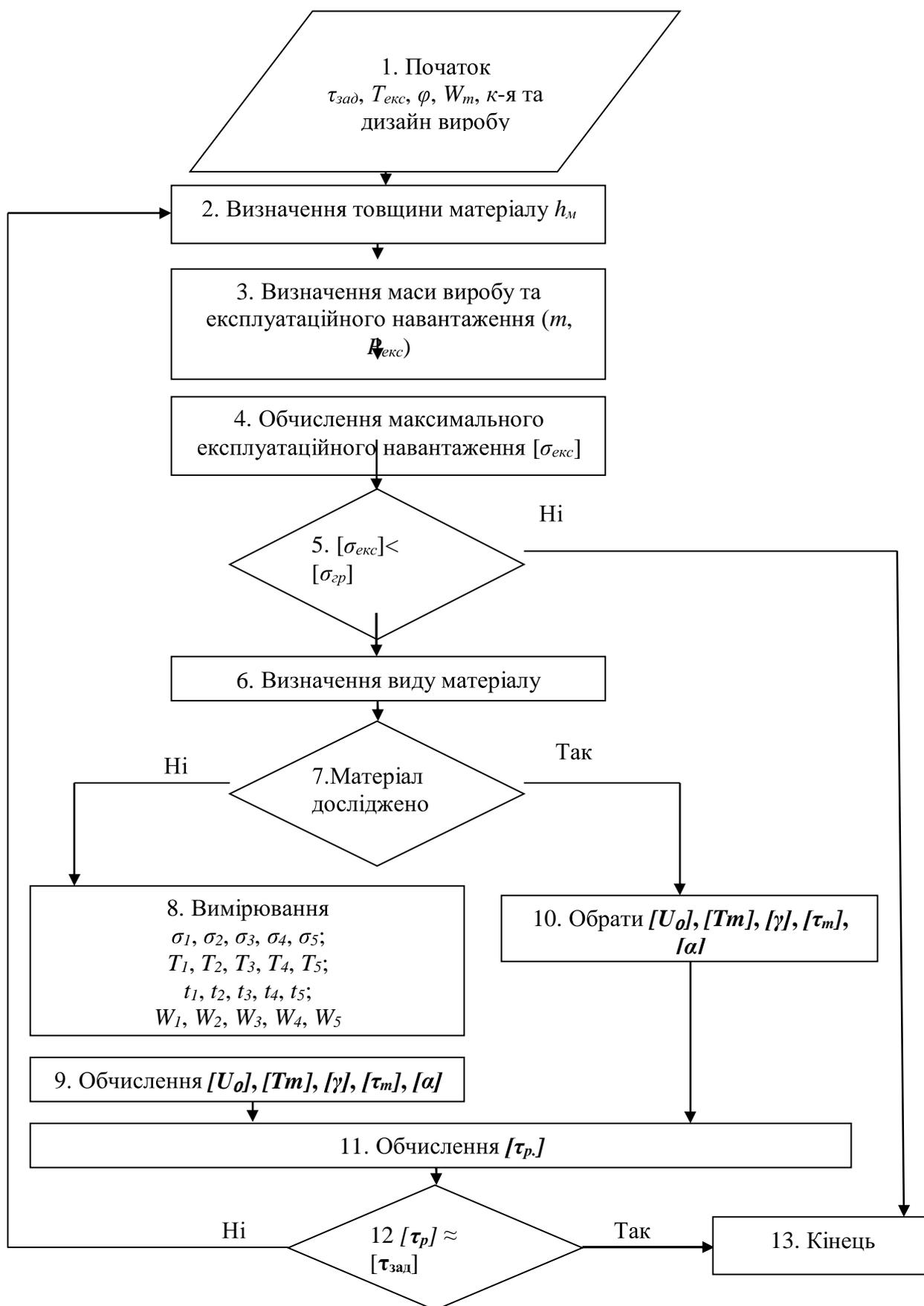


Рис. 1. Алгоритм прогнозування довговічності деревинноволокнистих плит середньої щільності

1. Вихідними параметрами для прогнозування довговічності є: заданий термін експлуатації (задана довговічність), умови експлуатації (температура T та вологість повітря φ), вологість матеріалу, конструкція та дизайн виробу.

2. Визначаємо товщину матеріалу h_m .

3. Знаючи густину матеріалу та його об'єм, визначаємо масу матеріалу та величину сили $[F_{екс}]$, що діє на конструкцію.

4. За формулами механіки твердого тіла обчислюємо величину експлуатаційного навантаження $[\sigma_{екс}]$.

5. Порівнюємо величину експлуатаційного навантаження $[\sigma_{екс}]$ з гранично допустимим навантаженням $[\sigma_{гр}]$. Якщо $[\sigma_{екс}]$ менше, ніж $[\sigma_{гр}]$, переходимо до наступного етапу. Якщо $[\sigma_{екс}]$ більше, ніж $[\sigma_{гр}]$, тоді виконання алгоритму завершено, тому що умова міцності не виконується.

6. Визначаємо вид матеріалу: плита MDF без покриття, з захисно-декоративним покриттям або личкована натуральним шпоном.

7. Якщо матеріал, з якого буде виготовлено виріб, досліджено, термоактиваційні параметри (U_0 , T_m , γ , τ_m , α) обираємо з [3]. Якщо матеріал не входить у групу досліджених матеріалів, переходимо до кроку 8.

8. Випробовуємо серію зразків із матеріалу за п'яти фіксованих значень температури (T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5) та вологості (W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , W_5). Знаходимо величину руйнівного навантаження (σ_1 , σ_2 , σ_3 , σ_4 , σ_5) та час руйнування (t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5) за відповідного значення температури та вологості.

9. За системою рівнянь [3] обчислюємо термоактиваційні параметри (U_0 , T_m , γ , τ_m , α).

10. Використовуючи формулу (1), визначаємо довговічність виробу (конструкції).

11. Після розрахунків порівнюємо розраховану довговічність $[T_p]$ з заданим терміном служби $[T_{зад}]$. Якщо ці величини приблизно рівні, виконання алгоритму завершується. Якщо $[T_p]$ набагато більше $[T_{зад}]$, тоді переходимо до кроку 2 і, зменшуючи товщину матеріалу, повторюємо кроки алгоритму до виконання умови $[T_p] \approx [T_{зад}]$.

Для прикладу оцінимо довговічність чорнової підлоги у деякій кімнаті, дизайн-проект якої наведено на рис. 2. Як фінішне покриття використано ламінат виробництва Коростенського заводу MDF, а чорнову підлогу виконано з плити MDF товщиною 16 мм.

Розглянемо дизайн-проект кімнати на вигляді зверху (рис. 3). Для пошуку величини напруження розглянемо два перерізи: А – А та В – В. У перерізі А – А бачимо, що чорнова підлога сприймає рівномірно розподілене навантаження від ваги ламінату та точкове навантаження від шафи. У перерізі В – В маємо випадок багатопрілітної балки.

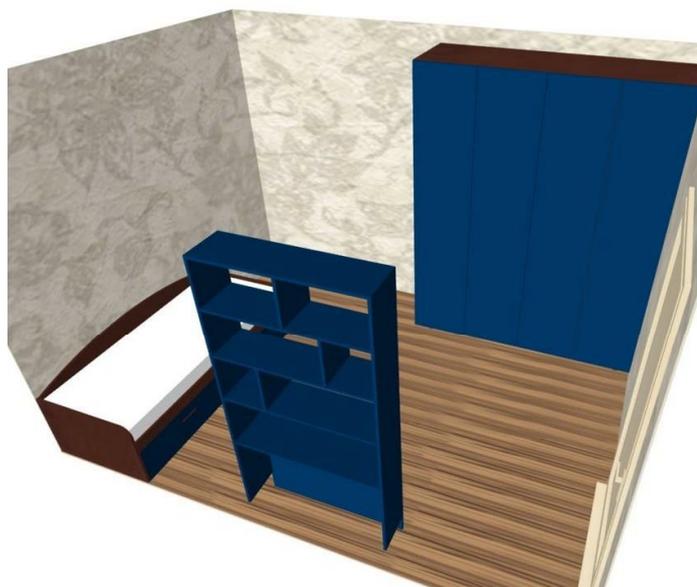


Рис. 2. Дизайн-проект кімнати у багатоповерховому будинку

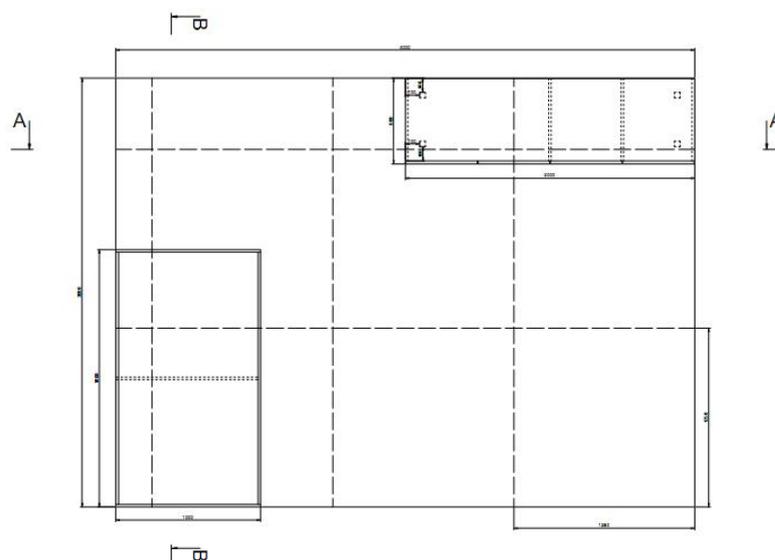


Рис. 3. План кімнати (вигляд зверху)

За допомогою формул механіки твердого тіла знайдемо величину напружень, що виникають при заданій схемі навантаження: $[\sigma] = 273 \times 10^3 \text{ Н} \times \text{м}^{-2}$. Довговічність з врахуванням умов експлуатації за формулою (1) $[t] = 882$ роки, тому згідно з алгоритмом (рис. 1) змінимо товщину матеріалу та виконаємо новий розрахунок довговічності. Для нашого прикладу: $[t] = 117$ років. Отже, можна зробити порівняння результатів, отриманих у разі дослідження довговічності чорнової підлоги від її товщини, а саме зменшення товщини чорнової підлоги з 16 мм до 10 мм, що дає змогу розширити промислове використання плити MDF товщиною 10 мм з одночасною економією лісових ресурсів, адже, цілком логічно, що для виготовлення плити MDF товщиною 10 мм потрібно витратити менше деревної сировини.

Висновки і перспективи. Алгоритм дає змогу визначити ресурс довговічності, враховуючи не лише максимальне навантаження (критерій

міцності або жорсткості), а й фактори навколишнього середовища. Сьогодні конструкції з деревиннокомпозиційних матеріалів проектуються виходячи з критерію міцності, а у методиках, на основі яких перевіряють конструкції на міцність рекомендується розрахункове значення максимально допустимого навантаження множити на коефіцієнт запасу, який може обиратися як з довідкової літератури, так і самостійно задаватися проектувальником. Наше дослідження показало, що одного критерію міцності для пошуку необхідної товщини матеріалу, з якого буде виготовлено виріб недостатньо.

Список використаних джерел

1. The world market of MDF [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.woodpanelonline.com/downloads/mdf-yearbook-2013-2014/>.
2. Плити деревинні. Визначення модуля пружності та границі міцності під час згинання (EN 310:2003, IDT) : ДСТУ EN 310 : 2003. – [Чинний від 01.07.2005]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 10 с. – (Національний стандарт України).
3. Бойко Л. М. Вплив захисно-декоративного покриття на довговічність плит MDF [Електронний ресурс] / Л. М. Бойко, О. В. Анциферова // Електронний науковий журнал «Лісове і садово-паркове господарство» – К. : НУБіПУ, 2016. – Журнал № 9. – Режим доступу: <http://ejournal.studnubip.com/zhurnal-9/ukr/bojko-antsyferova/>.
4. Ратнер С. Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозировать работоспособность? / С. Б. Ратнер, В. П. Ярцев. – М. : Химия, 1992. – 320 с.
5. Бойко Л. М. Прогнозування довговічності личкованих стружкових плит у конструкціях меблів / Л. М. Бойко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів та природокористування України. – Серія «Лісівництво та декоративне садівництво». – 2011. – Вип. 164. – Ч. 1. – С. 231 – 238.

References

1. The world market of MDF. Available at: <http://www.woodpanelonline.com/downloads/mdf-yearbook-2013-2014/>.
2. EN 310 Wood plate. Determination of modulus of elasticity and tensile strength in bending.
3. Bojko, L. M., Ancyferova, O. V. (2016). Vplyv zachysno-dekoratyvnogo pokryttya na dovgovichnist plyt MDF [The influence of protective-decorative coatings on the durability of MDF]. Electronic scientific journal "Forest and garden-park economy" 9. Available at: <http://ejournal.studnubip.com/zhurnal-9/ukr/bojko-antsyferova/>.
4. Ratner, S. B., Yarchev, V. P. (1992) Fizicheskaya mekhanika plasmas. Kak prognozirovat` rabotosposobnost` [Physical mechanics of plastics. How to predict performance?]. Moscow: Chemistry, 320
5. Boiko, L. (2011). Prohnozuvannia dovhovichnosti lychkovanykh struzhkovykh plyt u konstruktsiiakh mebliv [Prediction of durability lined chipboards in the furniture designs]. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Forestry and ornamental plants, 164, 1, 231–238.

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДРЕВЕСНОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ В ИЗДЕЛИЯХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н. Г. Чаусов, С. З. Сагаль, Л. Н. Бойко, А. В. Анциферова

Аннотация. Приведены основные результаты исследования долговечности плит MDF (Medium Density Fiberboard), что основывается на термофлуктуационной (кинетической) теории прочности. Основываясь на положениях кинетической теории был разработан алгоритм, который позволяет прогнозировать срок службы древесноволокнистых плит средней плотности с различным видом защитно-декоративного покрытия и толщины и включает ускоренный способ определения термоактивационных параметров материала. В статье предлагается новый подход к изучению закономерностей разрушения древеснокомпозиционных материалов, а также прогнозирование параметров работоспособности композиционных материалов на основе древесины, который связан с изучением поведения внутренних констант материала, определяющих эти параметры. Предложенный метод позволяет, кроме нагрузки, которая действует на конструкцию или материал, учитывать влияние температуры и влажности окружающей среды. Определены физические параметры долговечности чернового покрытия для пола в зависимости от толщины материала, используемого в конструкции.

Ключевые слова: древеснокомпозиционные материалы, древесина, метод оценивания, долговечность, термофлуктуационная теория, прогнозирование.

A PHENOMENOLOGICAL MODEL OF PREDICTION OF DURABILITY OF DREVESNOSTRUZHECHNYH OF THE MEDIUM DENSITY MATERIALS IN THE GOODS

N. Chausov, S. Sagal, L. Boiko, O. Ancyferova

Abstract. The main results of research of durability of plates MDF (Medium Density Fiberboard), which is based on thermofluctuational (kinetic) theory of strength. On the basis of the kinetic theory was developed an algorithm that allows to predict the service life of wood-fiber plates of average density with different kind of protective and decorative coatings and thickness, and includes a faster way of determining thermoactivation parameters of the material. The paper proposes a new approach to the study of the patterns of destruction composite materials based on wood, as well as the forecasting performance of composite materials based on wood, which is associated with the study of the behavior of internal constants of the material, determining these parameters. The proposed method allows, in addition to the load that acts on the design or material, consider the influence of the temperature and humidity of the environment. We determine the physical parameters of durability rough flooring depending on the thickness of the material used in the construction.

Keywords: composite materials based on wood, wood, method of evaluation, durability, thermofluctuational theory, forecasting.