

лоносія до поверхні зменшується, оскільки температура поверхні частин зростає, а різниця температур на поверхні зменшується.

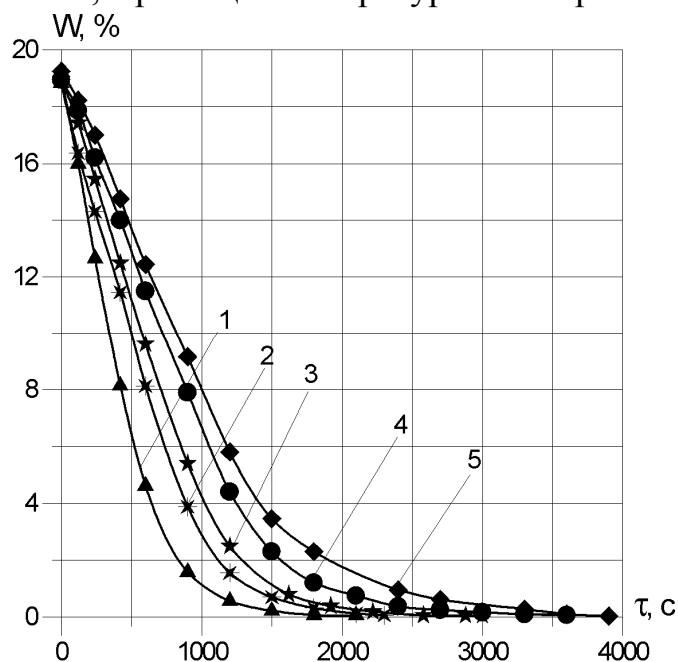


Рис. 4. Кінетика сушіння глини (циліндричні частини розміром $d \times h = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м} \times 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) за умов:

$T = 150 \text{ }^{\circ}\text{C};$
 $\Delta P = 98 \text{ Па};$
 1 – $20 \cdot 10^{-3} \text{ м};$
 2 – $30 \cdot 10^{-3} \text{ м};$
 3 – $40 \cdot 10^{-3} \text{ м};$
 4 – $50 \cdot 10^{-3} \text{ м};$
 5 – $60 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

У промисловості процес сушіння керамічних мас триває до досягнення матеріалом вологості 6 %, згідно з технологічними вимогами, за наявності першого та другого періодів. У разі сушіння комбінованим методом необхідна вологість досягається матеріалом уже у першому періоді, який завершується за вологості матеріалу $\approx 4 \%$. Таким чином уникаємо необхідності сушіння у другому періоді, де швидкість сушіння лімітується швидкістю молекулярної дифузії, яка є незначною для капілярно-пористих матеріалів.

Отримані результати дають змогу зробити висновок, що комбінований процес сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів конвективним методом з одночасним ІЧ-нагріванням та профільтровуванням теплоносія через шар матеріалу має істотні переваги як з точки зору економії енергозатрат, так і з точки зору інтенсивності сушіння порівняно з існуючими методами.

Література

1. Роговой М.И. Теплотехническое оборудование керамических заводов. – М.: Стройиздат, 1983. – 367 с.
2. Касаткин А.Г. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия. 1973.
3. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

**УДК 658.527.011.56 Асист. Н.О. Думанський – НУ "Львівська політехніка";
 доц. О.І. Думанський, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України**

МЕТОДИ ПОШУКУ ЕФЕКТИВНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛІНІЙ З ВИМУШЕНИМ ЄДИНИМ РИТМОМ РОБОТИ

Проведено аналіз наявних методів обчислення коефіцієнта накладання втрат, який залежить від кількості обладнання та коефіцієнта стабільності його роботи. Також запропоновано новий метод дослідження – апроксимація табличних даних.

*Assist. N.O. Dumanskij – NU "L'vivs'ka politekhnika";
doc. O.I. Dumanskij, – NUFWT of Ukraine*

Methods of search of effective decision of task of automated lines with the forced unique rhythm of work

The analysis of existent methods of calculation of coefficient of imposition of losses, which depends on the amount of equipment and coefficient of stability of his work, is conducted in this article. The new method of research is also offered is approximation of tabular information.

Автоматизація виробничих процесів сьогодні є розробленням високоінтенсивних технологічних процесів зі створенням на їх основі високопродуктивного устаткування, що виконує ці технологічні і допоміжні процеси без безпосередньої участі людини. Визначальною рисою науково-технічного прогресу в усіх галузях виробництва є перехід від розв'язання локальних завдань автоматизації до створення закінчених систем машин, що вирішують завдання випуску кінцевої продукції з використанням найновіших досягнень прогресивної технології, охорони довкілля, автоматизованих систем керування на базі промислової електроніки, мікропроцесорної техніки, промислових роботів тощо. Такі системи машин, розташованих відповідно до послідовності операцій технологічного процесу, утворюють лінії [1].

В автоматизованих лініях (АЛ) з синхронними потоками деталі передають безпосередньо без надходження до нагромаджувачів. Технологічні машини з'єднуються жорстким транспортом і утворюють прямопотокову лінію. Транспортні пристрої можуть бути як наскрізними, так і виносними [3].

Процес функціонування автоматичних ліній зі синхронними потоками заготовок (з єдиним транспортним пристроєм) можна формально подати наступним чином. Оскільки переміщення заготовок синхронне, отже транспортний пристрій може здійснювати переміщення тільки в тому випадку, коли закінчилось обслуговування на всіх верстатах або робочих місцях. Тобто тривалість i -го циклу лінії визначається верстатом, що має максимальне значення тривалості циклу t_{MAX} . Але, як показують дослідження, тривалості операцій є величинами випадковими і тому можуть бути випадки, коли для будь-якого з циклів поточне значення тривалості операції буде більшим від тривалості циклу визначального верстату чи робочого місця. Отже, значення тривалості циклу такої лінії є теж величина випадкова [2].

Для ліній з вимушеним єдиним ритмом роботи характерним є синхронне переміщення об'єктів оброблення. Отже переміщення деталей чи заготовок з попередньої позиції на наступну здійснюється тільки після закінчення операцій на всіх позиціях, тобто тоді, коли завершиться найтриваліша операція.

Максимальна пропускна здатність у цьому випадку визначається коефіцієнтом використання робочого часу ρ [1]:

$$\rho = \frac{1}{\mu\tau_a}, \quad (1)$$

де τ_a – математичне сподівання того, що через час t оброблення заготовок на всіх a верстатах буде завершена:

$$\tau_a = P\{\tau_{\max} \leq t\}. \quad (2)$$

Ймовірність того, що тривалості циклів для $(a-1)$ верстатів однакової продуктивності будуть меншими за величину t , в загальному випадку запишемо наступним виразом:

$$P\{\tau < t\} = F(t)^{a-1}. \quad (3)$$

Тепер, на основі вказаного вище, можна записати вираз для визначення математичного сподівання часу t , протягом якого буде завершено оброблення заготовок на всіх верстатах:

$$\tau_a = (t \cdot F(t)) \Big|_{\alpha}^{\beta} - \int_{\alpha}^{\beta} F(t) dt, \quad (4)$$

де $F(t) = P(\tau < t)$ – функція розподілу ймовірностей.

У ході перетворення цієї формули отримаємо вираз обчислення коефіцієнта накладених втрат робочого часу у системах з єдиним вимушеним ритмом роботи

$$H_{\in K} = 1 - K \left[\sum_{j=1}^a (-1)^{j+1} C_a^j \sum_{l_0+l_1+\dots+l_{K-1}=j} \frac{j!}{l_0!l_1!\dots l_{K-1}!} \cdot \frac{\left(\sum_{i=0}^{k-1} i l_i \right)!}{j^{1+\sum_{i=0}^{k-1} i l_i} \cdot \prod_{i=1}^{k-1} (i!)^{l_i}} \right]^{-1} \quad (5)$$

$a \geq 2, K \geq 1, M = 0, \mu_1 = \mu_2 = \mu_i.$

Форма отриманого розв'язку не дає змоги ефективно й зручно використовувати його для безпосередніх розрахунків через наявність там поліноміальних коефіцієнтів.

На сьогодні існує велика кількість формул приблизного обрахунку коефіцієнта накладених втрат робочого часу у системах з єдиним вимушеним ритмом роботи, але всі вони мають певні обмеження. Наприклад, зараз найбільш точним вважається такий простий уточнений вираз

$$H_{ak} = 3 \frac{1 - \left(\sum_{i=1}^a i^{-1} \right)^{-1}}{\prod_{i=1}^k \frac{2i}{2i-1} + 1} + 0.006(a-2), \quad 2 \leq a \leq 10; 1 \leq k \leq 100. \quad (6)$$

Але перевірка точності цього виразу показує, що у діапазоні параметрів $2 \leq a \leq 10; 1 \leq k \leq 100$ дисперсія між аналітичними та емпіричними даними дорівнює $S^2 = 0.681 \cdot 10^{-4}$, а середньоквадратичне відхилення $S = 0.00825$. Тобто, вийшовши за ці межі наші результати стануть неточними, що може призвести до великих втрат на лініях.

Якщо звернутись за допомогою до числових методів, а саме до оброблення експериментальних даних, то можна спробувати отримати аналітичний вираз, апроксимуючи табличні дані отримані з формули (5).

У нашому випадку функція апроксимації залежна від двох змінних $y = f(a, k)$, отже, спочатку проведемо апроксимацію для одного параметру, використавши інший як сталий коефіцієнт. Пізніше будемо апроксимувати значення одержаних коефіцієнтів, які будуть залежні від цього параметра. Для цього скористаємось методом найменших квадратів.

На основі виразу (5) було отримано величини коефіцієнта накладання втрат робочого часу H_{ek} у системах з ВСРР, фрагмент яких наведений у табл. 1. З даних таблиці отримуємо графік залежності коефіцієнта накладання втрат робочого часу H_{ek} від кількості верстатів a (рис. 1).

Табл. 1. Накладання втрат робочого часу

k	a	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0,454	0,520	0,562	0,592	0,614	0,632	0,647	0,659
2		0,378	0,436	0,475	0,503	0,525	0,541	0,556	0,567
3		0,333	0,387	0,423	0,449	0,469	0,486	0,499	0,511
4		0,307	0,352	0,387	0,412	0,431	0,447	0,460	0,471
5		0,279	0,327	0,359	0,383	0,402	0,417	0,430	0,440
6		0,261	0,307	0,337	0,361	0,378	0,393	0,405	0,416
7		0,251	0,290	0,320	0,342	0,359	0,375	0,385	0,395
8		0,234	0,276	0,305	0,326	0,343	0,357	0,368	0,378
9		0,224	0,264	0,292	0,313	0,329	0,342	0,354	0,363
10		0,214	0,254	0,281	0,301	0,316	0,328	0,341	0,350
20		0,161	0,194	0,214	0,230	0,243	0,253	0,263	0,270

Аналізуючи вигляд кривих на графіку, можна зробити висновок про вигляд аналітичної функції, яка запишеться

$$H_{ek} = 1 - \left(\frac{1}{a_1 \cdot \ln(a + a_2)} + a_3 \right), \quad (7)$$

де a_1, a_2, a_3 – невідомі коефіцієнти, які будуть залежати від параметра стабільності операцій k .

Провівши апроксимацію кожної, з кривих отримуємо набір даних для знаходження цих коефіцієнтів. Як показала апроксимація коефіцієнт a_1 для всіх кривих залишався сталим $a_1 = 1.6$. Для решти коефіцієнтів отримуємо графіки залежності від стабільності операції.

При детальному аналізі цих кривих отримуємо такі залежності

$$\begin{aligned} a_2 &= b_1 \cdot \ln(k + b_2) + b_3, \\ a_3 &= c_1 \cdot \ln(k + c_2) + c_3. \end{aligned} \quad (8)$$

Скориставшись методом найменших квадратів отримуємо значення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} b_1 &= 2.0651, & b_2 &= 12.5144, & b_3 &= -4.4212, \\ c_1 &= -0.1235, & c_2 &= -0.2069, & c_3 &= -0.1129. \end{aligned} \quad (9)$$

Відповідно, підставивши (9), (8) у (7), можна записати загальну аналітичну залежність

$$H_{\epsilon k} = 1 - \frac{1}{1,6 \cdot \ln(a + 2,0651 \cdot \ln(k + 12,5144) - 4,4212)} - 0,1235 \cdot \ln(k - 0,2069) - 0,1129. \quad (10)$$

Залишилось проаналізувати формулу (10), отриману апроксимацією емпіричних даних. Дана формула по суті не має під собою теоретичного підґрунтя. Вона повністю побудована на основі наочного аналізу табличних даних отриманих з формули (5).

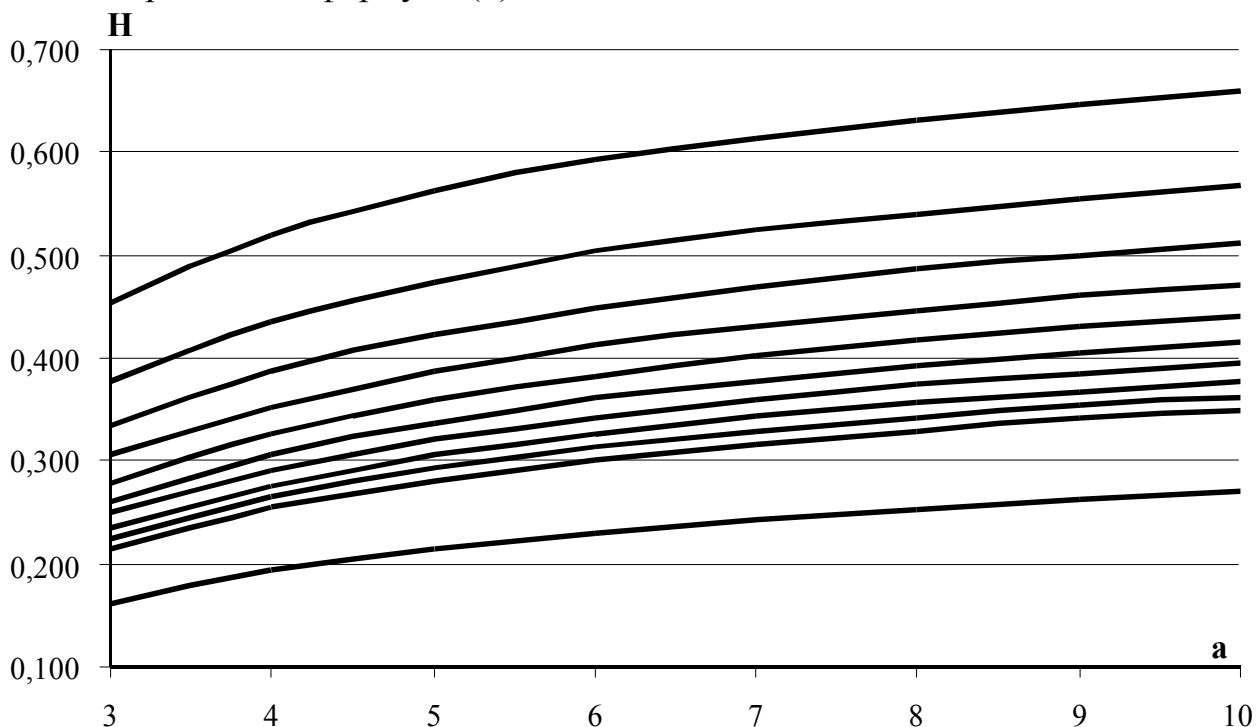


Рис. 1. Вплив кількості верстатів на коефіцієнт накладання втрат

На рис. 2 наведено графіки значень, обчислених за формулою (10). Одру видно малу розбіжність між аналітичними та емпіричними даними. Глибші дослідження цієї формули дозволили визначити межі її застосування $3 \leq a \leq 30$, $1 \leq k \leq 100$.

Формулу (10) можна також записати в іншому вигляді

$$H_{\epsilon k} = \ln \left[\frac{\left(a - 4,4212 + \ln(k + 12,5144)^{2,0651} \right)^{1,6}}{(k - 0,2069)^{0,1235}} \right] - 0,1129. \quad (11)$$

Такий вигляд більш компактний, хоча з іншого боку він може видатись громіздкішим.

Провівши аналіз результатів, наведених у цій статті, можна зробити висновок про відкритість теми пошуку оптимального розв'язку залежності коефіцієнта накладання втрат від кількості обладнання, коефіцієнта стабільності, продуктивності обладнання. Жоден з отриманих розв'язків не може бути застосованим як кінцевий результат, оскільки кожен з них має певні обмеження.

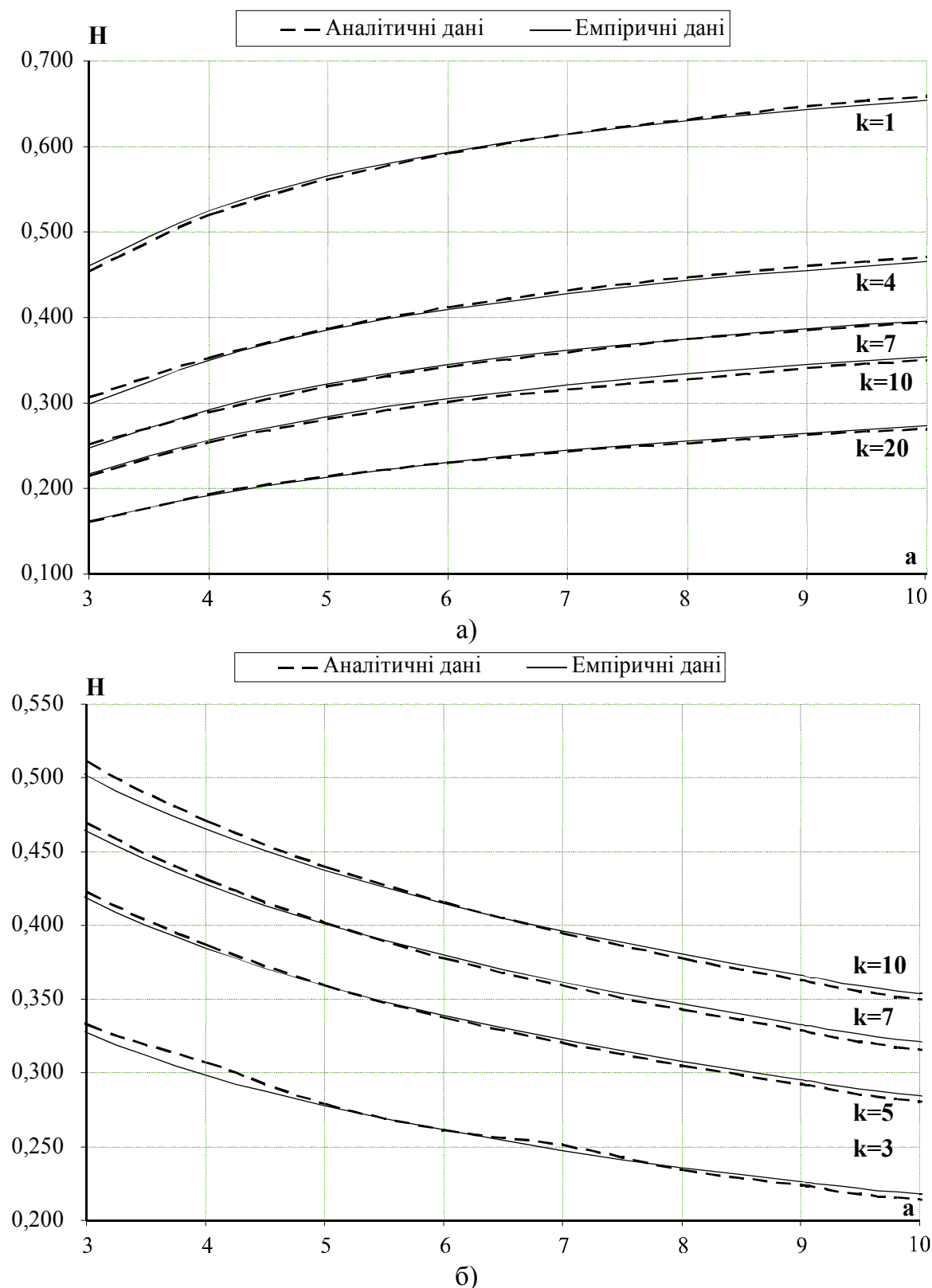


Рис. 2. Вплив кількості верстатів (а) і параметра стабільності (б) на коефіцієнт накладання втрат

Література

1. Дудюк Д.Л., Загвойська Л.Д., Максимів В.М. Елементи теорії автоматичних ліній. – Київ-Львів: ІЗМН, 1998. – 236 с.
2. Аверілл М., Лоу В. Девід Кельтон. Імітаційне моделювання. – К: ВНУ, 2004. – 346 с.
3. Корн Г., Корн Т. Довідник з математики (для наукових працівників та інженерів). – М.: Наука, 1974. – 764 с.

4. Дудюк Д.Л., Думанський О.І., Максимів В.М., Сорока Л.Я. Дослідження роботи ліній з наскрізним транспортом// Наук. вісник УкрДЛТУ: Проблеми деревообробного виробництва. – Львів: УкрДЛТУ. – 1994, вип. 2. – С. 46-49.
5. Дудюк Д.Л., Загвойська Л.Д., Максимів В.М. Моделювання автоматичних ліній синхронної дії:// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук. техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 1997, вип. 6. – С. 124-128.
6. Кнут Д.Є. Мистецтво програмування, т.1. Основні алгоритми. – М.-СПб.-К.: Вільямс, 2000. – 238 с.
7. Анджейчак І.А., Федюк Є.М., Анохін В.Є., Буда І.С., Коваленко Т.Г. Практикум з обчислювальної математики. Основні числові методи. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2000. – 346 с.
8. Дудюк Д.Л., Загвойська Л.Д., Максимів В.М. Моделювання автоматичних ліній синхронної дії// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук. техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2001, вип. 11. – С. 203-209.

УДК 674

*Доц. Р.О. Козак, канд. техн. наук;
магістрант А.В. Герасименко – НЛТУ України*

ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИЙ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ ТИРСИ ТА ДЕРЕВИННОЇ МАСИ

Розглянуто перспективи виготовлення та експериментально отримано теплоізоляційний матеріал на основі тирси і деревинної маси з різним співвідношенням цих компонентів.

Doc. R.O. Kozak; master's degree A.V. Gerasimenko – NUFWT of Ukraine

Ecologically clean Heat-insulating material on the basis of sawdust and wood pulp

The prospects of making heat-insulating material are considered and on the basis of sawdust and wood pulp with different ratio of these components are considered.

Загальна частина. У сучасних умовах економії енергоресурсів велика увага приділяється теплоізоляційним матеріалам. При будівництві житла, транспорту, в авіабудуванні та інших галузях використовується велика кількість теплоізоляційних матеріалів здебільшого з синтетичних полімерів. Позитивні їх характеристики супроводжуються й негативними показниками, такими як токсичність, дефіцитність і висока вартість компонентів, складність оброблення, деструкція в часі, плавлення або горіння при підвищених температурах та ін. Цих недоліків можна уникнути, використовуючи для теплоізоляції деревинні композиційні матеріали.

Через значні нагромадження тирси, саме вона є об'єктом подальших досліджень щодо можливості застосування у виробництві теплоізоляційних матеріалів. Тирса є відходами лісопильно-деревообробних підприємств, тому є дешевим матеріалом, а використання її у новому матеріалі вирішує проблему утилізації відходів даних підприємств. Поряд з тирсою або замість неї для виробництва теплоізоляційних матеріалів можна використовувати й інші деревинні відходи, а саме дрібну стружку, відсів від технологічної тріски, деревинний порошок.

Як в'язучий компонент зазначених вище деревинних відходів прийнято застосувати деревинну масу, яку отримують у результаті стирання балан-