

УДК 674.2, 630*831.4/.6, 674.214, 674.21:691.11, 630*832, 674.093.6-413.85,
674.21

№ держреєстрації 0123U100280

Інв. №

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002

тел. +38(057) 7003888 <https://biotechuniv.edu.ua>, info@btu.kharkiv.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Валерій МИХАЙЛОВ

ЗВІТ

ПРО НАУКОВОДОСЛІДНУ РОБОТУ

**«ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА РЕСУРСООЩАДНОЇ
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РЕЙКОВИХ
ЗАГОТОВОК З ПАРАБОЛІЧНОЇ ЗОНИ КОЛОДИ»**

(остаточний)

Керівник НДР
д.т.н., доцент

Шевченко С.А.

Рукопис закінчено 15 листопада 2024 року

Результати цієї роботи розглянуто науково-технічною радою факультету лісового господарства, деревооброблювальних технологій та землевпорядкування, протокол №2 від 18.12.2024 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР
докт. техн. наук



15.11.2024

Шевченко С.А.
(розділи 2 – 4,
висновки)

Старший викладач



15.11.2024

Тупчий О.М.
(вступ, розділи 1, 5)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 45 стор., 19 рис., 23 джерела.

КОЛОДА, ПОСТАВ, ОБАПІЛ, РЕЙКОВА ЗАГОТОВАНКА, ОБ'ЄМ, ІМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Об'єкт дослідження – процес виготовлення рейкових заготовок з параболічної зони колоди.

Мета роботи - зменшення витрат деревини при переробці обапола в рейкові заготовки.

Методи дослідження: аналітичне моделювання розпилювання колод із використанням теорії поставів; моделювання впливу випадкових складових діаметра верхнього торця та збігу колоди на використання зони колоди, з якої виготовляються заготовки із застосуванням методів теорії ймовірності; обробка результатів комп'ютерного експерименту. із застосуванням методів математичної статистики.

Розроблено методику моделювання розпилювання колод із перероблянням обапола в дошки із зовнішньою пластєю параболічної форми (з яких далі виготовляються рейкові заготовки для меблевих і столярно-будівельних виробів) дає змогу оцінювати вплив товщини і розташування зазначених дощок у поставі (схемі розпилювання колод) на їх середній об'єм і об'єм зони колоди, використаної для їх виготовлення. Це дає змогу порівнювати постави й вибирати найбільш ресурсоощадні.

Запропоновано основне обладнання технологічної лінії для виготовлення рейкових заготовок з параболічної зони колоди.

Економічний ефект від використання розробленої методики обумовлюється збільшенням виходу продукції.

Перспективним напрямком подальших робіт є удосконалення методики для урахування втрат деревини при розпилюванні дощок параболічної форми на рейки.

ABSTRACT

Report on research work: 45 pages, 19 figures, 23 sources.

SAWLOG, PATTERN, MINING SLAB, SLATTED BLANK, VOLUME, PROBABILITY MODELING

The object of research is the process of cutting slatted blanks from the parabolic zone of the sawlog.

The purpose of the work is to reduce wood consumption when processing mining slab into slatted blanks.

Research methods: analytical modeling of the shape and size of lumber; modeling of the influence of random components of the diameter of its upper end and taper on the use of the log area from which the blanks are made using probability theory methods; processing of the results of a computer experiment using mathematical statistics methods.

A technique for modeling the log sawing with the processing of the mining slab into boards with an external face of a parabolic shape (from which slatted blanks for furniture, carpentry and construction products are further manufactured) has been developed. It allows us to assess the influence of the thickness and location of the specified boards in the log sawing pattern on their average volume and the volume of the log area used for their manufacture. This allows you to compare such patterns and choose the most resource-saving ones.

The main equipment of the technological line for the production of slatted blanks from the parabolic zone of the logs is proposed.

The economic effect of using the developed technique is due to an increase in slatted blanks yield.

A promising direction for further work is to improve the technique for accounting for wood losses when sawing parabolic-shaped boards into slatted blanks.

ЗМІСТ

Перелік умовних познач	6
Вступ	8
1 Огляд публікацій	9
2 Методика дослідження	11
3 Імовірнісне моделювання розмірів і об'єму дощок параболічної форми, отримуваних із параболічної зони колоди	12
4 Приклад реалізації методики імовірнісного моделювання розмірів і об'єму дощок параболічної форми, отримуваних із параболічної зони колоди, із використанням електронної таблиці	20
5 Технологічна лінія для виготовлення рейкових заготовок з параболічної зони колоди	40
Висновки	42
Перелік джерел посилання	43

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАК

- a – випадкове значення коефіцієнта в рівнянні твірної, м;
 B – випадкове значення ширини параболічної дошки, м;
 d – випадкове значення діаметра колоди у верхньому торці, м;
 $d_{\max}$ – верхня межа діапазону діаметрів колоди у верхньому торці, м;
 $d_{\min}$ – нижня межа діапазону діаметрів колоди у верхньому торці, м;
 f_d – щільність імовірності діаметра колоди у верхньому торці, 1/м;
 F_{n-1}^{-1} – функція, зворотна до функції розподілу Стюдента з $(n-1)$ ступенем свободи;
 f_s – щільність імовірності збігу колоди, м/м;
 h – відстань від осі колоди до зовнішньої пласті дошки параболічної форми, м;
 h_0 – відстань від осі колоди до внутрішньої пласті дошки параболічної форми, м;
 k – коефіцієнт;
 K – випадкове значення коефіцієнту використання об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми;
 l – випадкове значення довжини дошки параболічної форми;
 L – довжина колоди, м;
 m_s – математичне сподівання збігу колод, м/м;
 n – кількість елементів вибірки;
 r – випадкове значення радіусу колоди у верхньому торці, м;
 R – випадкове значення радіусу колоди в нижньому торці, м;
 S – випадкове значення площі зовнішньої пласті параболічної дошки, м²;
 V_B – випадкове значення об'єму параболічної дошки, м³;
 V_{Bav} – вибіркове середнє арифметичне значення об'єму дощок параболічної форми, м³;

V_{Bhigh} – верхня межа довірчого інтервалу оцінки об'єму дощок параболічної форми, м³;

V_{Blow} – нижня межа довірчого інтервалу оцінки об'єму дощок параболічної форми, м³;

V_C – об'єм чотирикантового серцевинного бруса, м³;

V_L – об'єм колоди, м³;

V_S – випадкове значення об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми, м³;

x – відстань від верхнього торця колоди, м;

x_0 – випадкове значення зміщення верхівки твірної відносно верхнього торця колоди, м;

y – відстань від осі колоди, м;

α – довірчий рівень;

Δl – відстань від верхнього торця колоди до верхівки зовнішньої пласті дошки параболічної форми, м;

σ_n – вибіркове середньоквадратичне відхилення об'єму дощок параболічної форми, м³;

σ_s – середньоквадратичне відхилення збігу колод, м/м;

ν_s – коефіцієнт варіації збігу колод.

ВСТУП

Тенденція до зростання вартості круглих лісоматеріалів, що спонукає до якомога ефективнішого їх використання. Перспективним напрямком розвитку підприємств із виробництва пиломатеріалів є застосування комп'ютерних систем вимірювання колод і систем неруйнівного контролю колод (зокрема, на основі магнітно-резонансної томографії) [21, 23]. Такі системи дають змогу передбачати текстуру пиломатеріалів, прогнозувати їх фізико-механічні властивості (зокрема, щільність, пружність і міцність) і розташування вад деревини. У комплексі з такими системами використовуються верстати для розпилювання колод, системи керування яких отримують інформацію щодо схеми їх розпилювання (поставу). Розробляються й комплексні системи оптимізації всього ланцюжка постачання деревини, які охоплюють спилування дерев, розкрязування стовбурів, сортування і транспортування колод, поперечний поділ і розпилювання колод та постачання готової продукції.

Зазначені комп'ютерні системи набувають поширення в ЄС, США та Канаді, однак їх порівняно висока вартість обмежує їх використання на вітчизняних підприємствах. Тож продовжують використовуватися комп'ютерні програми для розробки поставів, які ґрунтуються на представленні колод правильними геометричними тілами заданих розмірів [11].

Але звернемо увагу на те, що розміри колоди мінливі. Це стосується як товщини колоди у верхньому (навіть у межах певної розмірної групи варіація може досягати $\pm 5\%$), так і, більшою мірою, збігу колоди. При цьому, як показано в [14], збіг колоди суттєво впливає на вихід пиломатеріалів, а більш повне використання зони збігу, яка є частиною параболічної зони колоди, є суттєвим поліпшення ефективності використання круглих лісоматеріалів за рахунок переробки обапелів [9]. Тож вплив зазначеної мінливості може бути враховано шляхом імовірнісного моделювання розпилювання колод, представлених правильними геометричними тілами, розміри яких є мінливими

[12]. Такі методи оптимізації поставів займають проміжне положення між методами, що використовують апроксимацію колод правильними геометричним тілами заданих розмірів і методи, що враховують фактичну форму колод, та дають змогу, принаймні частково, враховувати мінливість розмірів колод при порівнянні та виборі раціональних поставів за критерієм ощадливого використання деревини.

1 ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження з оптимізації поставів для розпилювання колод для більш повного використання деревини здійснюються в кількох напрямках.

Комп'ютерній реконструкції колод та удосконаленню алгоритмів оптимізації поставів для розпилювання кожної окремої колоди за допомогою інформації, отриманої від тривимірних сканерів і систем комп'ютерної томографії присвячені роботи [10, 19, 21, 23].

Ряд робіт містить результати досліджень з оптимізації розпилювання викривлених колод [18, 6] із використанням зазначених вище комп'ютерних технологій.

Результати дослідження збігу колод порід, найбільш поширених в Україні (Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) та common oak (*Quercus robur* L.)) наведено в [13]. Вимірювання форми стовбурів, які слугували експериментальним матеріалом для комп'ютерного моделювання їх розпилювання та визначення регресійних залежностей збігу колод від їх серединної товщини, здійснювались відповідно, у кліматичних зонах Полісся і Лісостепу.

Числові характеристики (середнє значення, середньоквадратичне відхилення, асиметрія) збігу колод сосни та ялини, виміряні на підприємствах з виробництва пиломатеріалів під час досліджень з удосконалення технологій розпилювання колод у Швеції, Фінляндії та Португалії, а також при моделюванні розпилювання стовбурів, виходячи з їх 3D-сканів (зберігаються в Swedish Stem Bank) наведено в [15, 16, 19, 20, 22].

Отже, перспективним напрямком ресурсоощадження при виробництві пиломатеріалів і заготованок є врахування природної мінливості товщини та збігу колод при розробці поставів для їх розпилювання з урахуванням переробляння обапелів.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Обґрунтуємо вибір методу дослідження. При цьому будемо враховувати, що перед розпилюванням колод типово здійснюється їх сортування по діаметру верхнього торця з певною градацією, а збіг колод є випадковою величиною внаслідок мінливості лісорослинних умов та інших факторів.

Що стосується методу аналітичного визначення впливу зазначених випадкових величин на розміри дощок параболічної форми із застосуванням методів теорії функцій випадкових величин, то його практична реалізація ускладнюється нелінійним характером функцій, які використовується для опису твірної колоди, визначення довжини дошки параболічної форми та її ширини в нижньому торці, а також для обчислення об'єму колоди.

Тож дослідження будемо здійснювати методом Монте-Карло, генеруючи випадкові параметри колони із певними законами розподілу та усереднюючи отримані параметри дощок параболічної форми та об'єми параболічної зони колод, використаної для їх виготовлення. На цій основі визначатиметься довірчий інтервал об'єму дошки параболічної форми та витрати деревини на її виготовлення.

3 ІМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗМІРІВ І ОБ'ЄМУ ДОЩОК ПАРАБОЛІЧНОЇ ФОРМИ, ОТРИМУВАНИХ ІЗ ПАРАБОЛІЧНОЇ ЗОНИ КОЛОДИ

Для зручності розрахунків будемо використовувати представлення всіх лінійних розмірів у метрах.

Зважаючи на те, що градація колод у товщині здійснюється з кроком значно менший ніж типові діапазони товщини пиловочних колод, будемо розглядати діаметр колоди у верхньому торці як розподілений відповідно до рівномірного закону:

$$d \in [d_{\min}, d_{\max}] , \quad (3.1)$$

$$f_d(d) = \frac{1}{d_{\max} - d_{\min}} , \quad (3.2)$$

де d – випадкове значення діаметра колоди у верхньому торці, м;

$d_{\max}$ – верхня межа діапазону діаметрів колоди у верхньому торці, м;

$d_{\min}$ – нижня межа діапазону діаметрів колоди у верхньому торці, м;

f_d – щільність імовірності діаметра колоди у верхньому торці, 1/м.

Збіг колод будемо розглядати як розподілений за нормальним законом, ураховуючи його залежність від багатьох факторів – лісорослинних умов, місця колоди в стовбурі тощо:

$$f_s(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_s} \exp\left(-\frac{(s - m_s)^2}{2\sigma_s^2}\right) , \quad (3.3)$$

де f_s – щільність імовірності збігу колоди, м/м;

σ_s – середньоквадратичне відхилення збігу колод, м/м;

m_s – математичне сподівання збігу колод, м/м.

Середньоквадратичне відхилення збігу колод визначатимемо через його математичне сподівання та коефіцієнт варіації:

$$\sigma_s = m_s \nu_s , \quad (3.4)$$

де ν_s – коефіцієнт варіації збігу колод.

Обчислимо випадкове значення діаметра колоди в нижньому торці (див. рис. 3.1) [11]:

$$D = d + sL , \quad (3.5)$$

де L – довжина колоди, м.

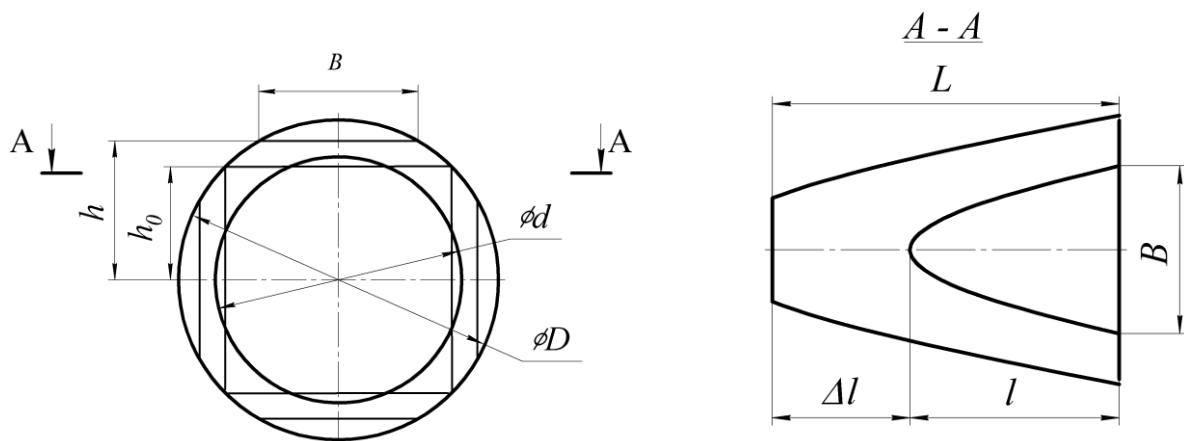


Рисунок 3.1 – Схема вирізання дощок параболічної форми

Далі обчислимо випадкові значення радіусів колоди в нижньому та верхньому торці:

$$r = \frac{d}{2} , \quad (3.6)$$

$$R = \frac{D}{2} , \quad (3.7)$$

де r – випадкове значення радіусу колоди у верхньому торці, м;

R – випадкове значення радіусу колоди в нижньому торці, м;

Розглядаючи колоду як усічений параболоїд обертання, обчислимо її об'єм за формулою [11]:

$$V_L = \frac{\pi}{8} (d^2 + D^2) L, \quad (3.8)$$

де V_L – об'єм колоди, м³.

Рівняння твірної параболоїда обертання шукатимемо у вигляді:

$$y(x) = a\sqrt{x + x_0}, \quad (3.8)$$

де y – відстань від осі колоди, м;

x – відстань від верхнього торця колоди, м;

a – випадкове значення коефіцієнта в рівнянні твірної, м;

x_0 – випадкове значення зміщення верхівки твірної відносно верхнього торця колоди, м.

Для знаходження випадкових значень параметрів, які входять в рівняння твірної (3.8), складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} y(0) = r \\ y(L) = R \end{cases}, \quad (3.9)$$

Перетворимо систему рівнянь (3.9) з урахуванням (3.8):

$$\begin{cases} y(0) = a\sqrt{x_0} \\ y(L) = a\sqrt{x_0 + L} \end{cases}, \quad (3.10)$$

$$\begin{cases} r^2 = a^2 x_0 \\ R^2 = a^2 (x_0 + L) \end{cases} . \quad (3.11)$$

Розв'яжемо систему рівнянь (3.11):

$$R^2 = a^2 x_0 + a^2 L, \quad (3.12)$$

$$R^2 = r^2 + a^2 L, \quad (3.13)$$

$$a^2 L = R^2 - r^2, \quad (3.14)$$

$$a^2 = \frac{R^2 - r^2}{L}, \quad (3.15)$$

$$a = \sqrt{\frac{R^2 - r^2}{L}}. \quad (3.16)$$

Випадкове значення зміщення верхівки твірної відносно верхнього торця колоди визначимо, перетворюючи (3.10) з урахуванням (3.16):

$$r^2 = \frac{R^2 - r^2}{L} x_0, \quad (3.17)$$

$$x_0 = \frac{r^2 L}{R^2 - r^2}. \quad (3.18)$$

Відстань від верхнього торця колоди до верхівки зовнішньої пласті дошки параболічної форми визначимо з рівняння:

$$y(\Delta l) = h, \quad (3.19)$$

де h – відстань від осі колоди до зовнішньої пласті дошки параболічної форми, м;

Δl – відстань від верхнього торця колоди до верхівки зовнішньої пласті дошки параболічної форми, м.

Перетворюючи (3.19) з урахуванням (3.8), отримаємо:

$$a\sqrt{\Delta l + x_0} = h, \quad (3.20)$$

$$a^2(\Delta l + x_0) = h^2, \quad (3.21)$$

$$a^2\Delta l + a^2x_0 = h^2, \quad (3.22)$$

$$a^2\Delta l = h^2 - a^2x_0, \quad (3.23)$$

$$\Delta l = \frac{h^2 - a^2x_0}{a^2}, \quad (3.24)$$

$$\Delta l = \frac{h^2}{a^2} - x_0, \quad (3.25)$$

$$\Delta l = \frac{\frac{h^2}{R^2 - r^2} - \frac{r^2L}{R^2 - r^2}}{L}, \quad (3.26)$$

$$\Delta l = \frac{h^2L}{R^2 - r^2} - \frac{r^2L}{R^2 - r^2}, \quad (3.27)$$

$$\Delta l = \frac{h^2L - r^2L}{R^2 - r^2}, \quad (3.28)$$

$$\Delta l = \frac{(h^2 - r^2)L}{R^2 - r^2}. \quad (3.29)$$

Це дає змогу обчислити випадкове значення довжини дошки параболічної форми, виміряної по зовнішній пласті:

$$l = L - \Delta l, \quad (3.30)$$

де l – випадкове значення довжини дошки параболічної форми:

Тепер обчислюємо ширину параболічної дошки [11]:

$$B = 2\sqrt{R^2 - h^2}, \quad (3.31)$$

де B – випадкове значення ширини параболічної дошки, м.

Далі обчислюємо випадкове значення площі зовнішньої пласті параболічної дошки:

$$S = \frac{2}{3} l B, \quad (3.32)$$

де S – випадкове значення площі зовнішньої пласті параболічної дошки, м².

Обчислюємо випадкове значення об'єму параболічної дошки (без обзола):

$$V_B = S(h - h_0), \quad (3.33)$$

де V_B – випадкове значення об'єму параболічної дошки, м³;

h_0 – відстань від осі колоди до внутрішньої пласті дошки параболічної форми, м.

Тепер обчислюємо об'єм чотирикантового серцевинного бруса (однаковий для всіх колод):

$$V_C = h_0^2 L, \quad (3.34)$$

де V_C – об'єм чотирикантового серцевинного бруса, м³.

Далі визначимо випадкове значення об'єму зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми:

$$V_S = V_L - V_C, \quad (3.35)$$

де V_S – випадкове значення об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми, м³.

Це дає змогу обчислити випадкове значення коефіцієнту використання об'єму параболічної зони колоди:

$$K = \frac{4V_B}{V_S}, \quad (3.36)$$

де K – випадкове значення коефіцієнту використання об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми.

За результатами багатократного повторення наведених вище розрахунків обчислюють середнє арифметичне значення об'єму дощок параболічної форми (без урахування відходів в об зольні рейки) як точкову оцінку математичного сподівання зазначеного об'єму та точкову оцінку середньоквадратичного відхилення зазначеного об'єму, а також середнє арифметичне значення об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми

Далі задаються певним довірчим рівнем та обчислюють інтервальну оцінку об'єму дощок параболічної форми, використовуючи методику такого оцінювання для довільного розподілу генеральної сукупності випадкової величини (з обмеженим четвертим моментом) і невідомій дисперсії за формулою:

$$k = F_{n-1}^{-1} \left(\frac{1-\alpha}{2} \right), \quad (3.37)$$

$$V_{B\text{low}} = V_{B\text{av}} - k \frac{\sigma_n}{\sqrt{n-1}}, \quad (3.38)$$

$$V_{B\text{high}} = V_{B\text{av}} + k \frac{\sigma_n}{\sqrt{n-1}}, \quad (3.39)$$

де k – коефіцієнт;

F_{n-1}^{-1} – функція, зворотна до функції розподілу Стюдента з $(n-1)$ ступенем свободи.

α – довірчий рівень;

V_{Blow} – нижня межа довірчого інтервалу оцінки об'єму дощок параболічної форми, м³;

V_{Bav} – вибіркове середнє арифметичне значення об'єму дощок параболічної форми, м³;

n – кількість елементів вибірки;

σ_n – вибіркове середньоквадратичне відхилення об'єму дощок параболічної форми, м³;

V_{Bhigh} – верхня межа довірчого інтервалу оцінки об'єму дощок параболічної форми, м³.

4 ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДИКИ ІМОВІРНІСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗМІРІВ І ОБ'ЄМУ ДОЩОК ПАРАБОЛІЧНОЇ ФОРМИ, ОТРИМУВАНИХ ІЗ ПАРАБОЛІЧНОЇ ЗОНИ КОЛОДИ, ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОННОЇ ТАБЛИЦІ

Моделювання здійснено в електронній таблиці Libre Calc з пакету програм Libre Office. Кількість колод, розпилювання яких моделювалось методом Монте-Карло, становить 1000. Приклад вихідних даних і результатів моделювання наведено на рис. 4.1. Моделювання здійснено в наступній послідовності.

Для кожного випадку розпилювання колоди відведено окремий рядок електронної таблиці, у якій введена відповідні формули.

Випадкове значення діаметру колоди у верхньому торці генерується за допомогою вбудованої функції RAND, яка повертає випадкове число діапазоні від нуля до одиниці, тож результат виклику цієї функції зміщується та масштабується (див. рис. 4.2).

Для генерації випадкового збігу колоди, розподіленого за нормальним законом, використовується метод зворотної функції (у даному випадку використовується функція, зворотна інтегральної функції нормального розподілу NORMINV, аргументом якої є рівномірно розподілене випадкове числом на інтервалі $(0,1)$ (див. рис. 4.3).

Далі в рядку вводяться формули для обчислення:

- діаметра колоди в нижнього торці,
- радіусів колоди у верхньому та нижньому торці,
- коефіцієнта пропорційності в рівнянні твірної параболоїда обертання (див. рис. 4.4);
- відстані від верхнього торця колоди до верхівки зовнішньої пласті дошки параболічної форми (за допомогою умовного оператора перед обчисленням перевіряється виконання умови $h > R$) - див. рисунок 4.5;
- довжини дошки параболічної форми (по зовнішній пласті),

- ширини дошки параболічної форми (див. рис. 4.6);
 - площі зовнішньої пласті дошки параболічної форми,
 - об'єму дошки параболічної форми,
 - об'єму колоди (див. рис. 4.7);
 - об'єму параболічної зони колоди (яка використовується для вирізання чотирьох зазначених дощок).
- загальної кількості колод, параметри яких обчислюються в одному експерименті (див. рис. 4.9);
 - коефіцієнту k (див. рис. 4.10);
 - середнього арифметичного значення об'єму дощок параболічної форми (див. рис. 4.11);
 - середньоквадратичного відхилення об'єму дощок параболічної форми (див. рис. 4.12);
 - нижньої та верхньої меж довірчого інтервалу оцінки об'єму дощок параболічної форми (див. рис. 4.13, 4.14);
 - об'єму чотирикантового бруса (див. рис. 4.15);
 - середнього значення об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми (див. рис. 4.16);
 - коефіцієнта використання об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми (див. рис. 4.17);
 - середнього значення коефіцієнту використання об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми (див. рис. 4.18).

МОДЕЛЮВАННЯ ВИХОДУ ДОЩОК ПАРАБОЛІЧНОЇ ФОРМИ ПРИ РОЗПИЛЮВАННІ КОЛОД														
Вихідні дані		Результати моделювання												
L		Переведення в основні одиниці Cj												
d min	6 м	Об'єм вибірки												
d max	26 см	Довірчий рівень												
	28 см	k												
s	10 мм/м	Об'єм дошок параболічної форми:												
σs	0,2	- середнє значення												
		- середньоквадратичне відхилення												
h	140 мм	- нижня межа довірчого інтервалу												
h0	105 мм	- верхня межа довірчого інтервалу												
		Vc												
		Vs (середнє значення)												
		K (середнє значення)												
№	d	s	D	r	R	a	delta l	l	B	S	Vb	Vl	Vs	K
1	0,277	=NORMINV(RAND0;\$F\$9;\$F\$12)	0,335	0,137	0,167	0,039	0,287	5,713	0,188	0,715	0,0250	0,4484	0,1838	54,5%
2	0,273	0,0103	0,335	0,137	0,167	0,040	0,602	5,398	0,184	0,662	0,0232	0,4402	0,1756	52,7%
3	0,268	0,0126	0,343	0,134	0,172	0,044	0,878	5,122	0,198	0,677	0,0237	0,4461	0,1815	52,2%
4	0,264	0,0076	0,309	0,132	0,155	0,033	2,001	3,999	0,132	0,351	0,0123	0,3899	0,1253	39,2%
990	0,274	0,0112	0,341	0,137	0,171	0,041	0,481	5,519	0,195	0,717	0,0251	0,4512	0,1866	53,8%
991	0,271	0,0082	0,321	0,136	0,160	0,035	0,964	5,036	0,157	0,526	0,0184	0,4162	0,1516	48,6%
992	0,271	0,0060	0,307	0,136	0,154	0,029	1,411	4,589	0,126	0,386	0,0135	0,3954	0,1308	41,3%
993	0,261	0,0109	0,327	0,131	0,163	0,040	1,580	4,420	0,168	0,496	0,0174	0,4124	0,1478	47,0%
994	0,261	0,0095	0,318	0,131	0,159	0,037	1,841	4,159	0,151	0,419	0,0147	0,3995	0,1349	43,5%
995	0,261	0,0085	0,312	0,130	0,156	0,035	2,116	3,884	0,137	0,356	0,0125	0,3897	0,1251	39,8%
996	0,269	0,0119	0,340	0,134	0,170	0,042	0,841	5,159	0,193	0,664	0,0232	0,4429	0,1783	52,1%
997	0,278	0,0083	0,328	0,139	0,164	0,035	0,214	5,786	0,171	0,658	0,0230	0,4355	0,1709	53,9%
998	0,277	0,0138	0,360	0,139	0,180	0,047	0,164	5,836	0,226	0,881	0,0308	0,4869	0,2223	55,5%
999	0,269	0,0099	0,329	0,135	0,165	0,039	0,971	5,029	0,173	0,580	0,0203	0,4263	0,1617	50,2%
1000	0,278	0,0098	0,337	0,139	0,168	0,039	0,227	5,773	0,187	0,719	0,0252	0,4485	0,1839	54,8%

Рисунок 4.3 – Генерування випадкового значення збігу колоди

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
1009																	
1010																	
1011																	
1012																	
1013																	
1014																	
1015																	
1016																	
1017																	
1018																	
1019																	
1020																	

Рисунок 4.4 – Обчислення коефіцієнта пропорційності в рівнянні твірної параболоїда обертання

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
1009																	
1010																	
1011																	
1012																	
1013																	
1014																	
1015																	
1016																	
1017																	
1018																	
1019																	
1020																	

Рисунок 4.5— Обчислення відстані від верхнього торця колоди до верхівки зовнішньої пласті дошки параболічної форми

AVERAGE		f _x ❌ ✅		=IF(G20>\$F\$13;2*SQRT(G20^2-\$F\$13^2);0)														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1																		
2																		
3		Вихідні дані			МОДЕЛЮВАННЯ ВИХОДУ ДОЩОК ПАРАБОЛІЧНОЇ ФОРМИ ПРИ РОЗПИЛЮВАННІ КОЛОД													
4		L	6 м															
5		d min	26 см			0,260 м							1000					
6													95%					
7		d max	28 см			0,280 м							2,24					
8																		
9		s	10 мм/м			0,0100 м/м												
10																		
11		G _s	0,2										0,0206 м³					
12		σ _s											0,0049 м³					
13		h	140 мм			0,002 м/м							0,0203 м³					
14		h ₀	105 мм			0,140 м							0,0210 м³					
15						0,105 м							0,2646 м³					
16													0,1643 м³					
17													50%					
18																		
19		№	d	s	D	r	R	a	delta l	l	B	S	V _B	V _L	V _S	K		
20		1	0,277	0,0101	0,337	0,138	0,169	0,039	0,287	5,713	=IF(G20>\$F\$13;2*SQRT(G20^2-\$F\$13^2);0)					54,5%		
21		2	0,273	0,0103	0,335	0,137	0,167	0,040	0,602	5,398	0,184	0,662	0,0232	0,4402	0,1756	52,7%		
22		3	0,268	0,0126	0,343	0,134	0,172	0,044	0,878	5,122	0,198	0,677	0,0237	0,4461	0,1815	52,2%		
23		4	0,264	0,0076	0,309	0,132	0,155	0,033	2,001	3,999	0,132	0,351	0,0123	0,3899	0,1253	39,2%		
1009		990	0,274	0,0112	0,341	0,137	0,171	0,041	0,481	5,519	0,195	0,717	0,0251	0,4512	0,1866	53,8%		
1010		991	0,271	0,0082	0,321	0,136	0,160	0,035	0,964	5,036	0,157	0,526	0,0184	0,4162	0,1516	48,6%		
1011		992	0,271	0,0060	0,307	0,136	0,154	0,029	1,411	4,589	0,126	0,386	0,0135	0,3954	0,1308	41,3%		
1012		993	0,261	0,0109	0,327	0,131	0,163	0,040	1,580	4,420	0,168	0,496	0,0174	0,4124	0,1478	47,0%		
1013		994	0,261	0,0095	0,318	0,131	0,159	0,037	1,841	4,159	0,151	0,419	0,0147	0,3995	0,1349	43,5%		
1014		995	0,261	0,0085	0,312	0,130	0,156	0,035	2,116	3,884	0,137	0,356	0,0125	0,3897	0,1251	39,8%		
1015		996	0,269	0,0119	0,340	0,134	0,170	0,042	0,841	5,159	0,193	0,664	0,0232	0,4429	0,1783	52,1%		
1016		997	0,278	0,0083	0,328	0,139	0,164	0,035	0,214	5,786	0,171	0,658	0,0230	0,4355	0,1709	53,9%		
1017		998	0,277	0,0138	0,360	0,139	0,180	0,047	0,164	5,836	0,226	0,881	0,0308	0,4869	0,2223	55,5%		
1018		999	0,269	0,0099	0,329	0,135	0,165	0,039	0,971	5,029	0,173	0,580	0,0203	0,4263	0,1617	50,2%		
1019		1000	0,278	0,0098	0,337	0,139	0,168	0,039	0,227	5,773	0,187	0,719	0,0252	0,4485	0,1839	54,8%		
1020																		

Рисунок 4.6 – Обчислення ширини дошки параболічної форми

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3			Вихідні дані														
4		L	6 м														
5		d min	26 см			0,260 м			Об'єм вибірки								
6									Довірчий рівень								
7		d max	28 см			0,280 м			k								
8																	
9		S	10 мм/м			0,0100 м/м											
10																	
11		cs	0,2														
12		cs				0,002 м/м											
13		h	140 мм			0,140 м											
14		h0	105 мм			0,105 м											
15									Vc								
16									Vs (середнє значення)								
17									K (середнє значення)								
18																	
19		№	d	s	D	r	R	a	delta l	l	B	S	Vb	Vl	Vs	K	
20		1	0,261	0,0141	0,346	0,131	0,173	0,046	1,178	4,822	0,203	0,652	0,0228	0,4427	0,1781	51,3%	
21		2	0,277	0,0128	0,354	0,139	0,177	0,045	0,190	5,810	0,216	0,838	0,0293	0,4761	0,2115	55,5%	
22		3	0,266	0,0081	0,314	0,133	0,157	0,034	1,662	4,338	0,143	0,413	0,0144	0,3991	0,1345	43,0%	
23		4	0,267	0,0072	0,310	0,133	0,155	0,032	1,740	4,260	0,133	0,378	0,0132	0,3942	0,1296	40,9%	
1009		990	0,273	0,0080	0,321	0,136	0,160	0,035	0,837	5,163	0,157	0,540	0,0189	0,4180	0,1534	49,3%	
1010		991	0,260	0,0093	0,316	0,130	0,158	0,037	1,980	4,020	0,147	0,394	0,0138	0,3953	0,1307	42,2%	
1011		992	0,262	0,0094	0,318	0,131	0,159	0,037	1,842	4,158	0,150	0,416	0,0146	0,3990	0,1344	43,3%	
1012		993	0,275	0,0084	0,325	0,137	0,163	0,035	0,584	5,416	0,165	0,596	0,0209	0,4268	0,1622	51,5%	
1013		994	0,275	0,0107	0,340	0,138	0,170	0,041	0,407	5,593	0,192	0,717	0,0251	0,4502	0,1856	54,1%	
1014		995	0,279	0,0111	0,345	0,139	0,173	0,042	0,099	5,901	0,202	0,794	0,0278	0,4639	0,1993	55,8%	
1015		996	0,277	0,0111	0,343	0,138	0,172	0,041	0,283	5,717	0,198	0,756	0,0265	0,4575	0,1929	54,8%	
1016		997	0,267	0,0087	0,319	0,133	0,160	0,036	1,423	4,577	0,153	0,467	0,0163	0,4074	0,1428	45,7%	
1017		998	0,276	0,0054	0,309	0,138	0,154	0,028	0,682	5,318	0,130	0,461	0,0161	0,4042	0,1396	46,2%	
1018		999	0,275	0,0105	0,337	0,137	0,169	0,040	0,473	5,527	0,188	0,694	0,0243	0,4459	0,1813	53,6%	
1019		1000	0,273	0,0146	0,361	0,137	0,180	0,048	0,407	5,593	0,227	0,847	0,0297	0,4823	0,2177	54,5%	
1020																	

Рисунок 4.9 – Визначення загальної кількості колод

AVERAGE		f _x ❌ ✔️		=AVERAGE(M20:M1019)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3			Вихідні дані														
4		L	6 м														
5		d min	26 см			0,260 м			Об'єм вибірки				1000				
6									Довірчий рівень				95%				
7		d max	28 см			0,280 м			k				2.24				
8																	
9		s	10 мм/м			0,0100 м/м			Об'єм дощок параболічної форми:				=AVERAGE(M20:M1019)				
10									- середнє значення				0,0051 м³				
11		Cs	0,2						- середньоквадратичне відхилення				0,0202 м³				
12		cs				0,002 м/м			- нижня межа довірчого інтервалу				0,0209 м³				
13		h	140 мм			0,140 м			- верхня межа довірчого інтервалу								
14		h0	105 мм			0,105 м											
15									Vc				0,2646 м³				
16									Vs (середнє значення)				0,1639 м³				
17									K (середнє значення)				50%				
18																	
19		№	d	s	D	r	R	a	delta l	l	B	S	Vb	Vl	Vs	K	
20		1	0,261	0,0141	0,346	0,131	0,173	0,046	1,178	4,822	0,203	0,652	0,0228	0,4427	0,1781	51,3%	
21		2	0,277	0,0128	0,354	0,139	0,177	0,045	0,190	5,810	0,216	0,838	0,0293	0,4761	0,2115	55,5%	
22		3	0,266	0,0081	0,314	0,133	0,157	0,034	1,662	4,338	0,143	0,413	0,0144	0,3991	0,1345	43,0%	
23		4	0,267	0,0072	0,310	0,133	0,155	0,032	1,740	4,260	0,133	0,378	0,0132	0,3942	0,1296	40,9%	
1009		990	0,273	0,0080	0,321	0,136	0,160	0,035	0,837	5,163	0,157	0,540	0,0189	0,4180	0,1534	49,3%	
1010		991	0,260	0,0093	0,316	0,130	0,158	0,037	1,980	4,020	0,147	0,394	0,0138	0,3953	0,1307	42,2%	
1011		992	0,262	0,0094	0,318	0,131	0,159	0,037	1,842	4,158	0,150	0,416	0,0146	0,3990	0,1344	43,3%	
1012		993	0,275	0,0084	0,325	0,137	0,163	0,035	0,584	5,416	0,165	0,596	0,0209	0,4268	0,1622	51,5%	
1013		994	0,275	0,0107	0,340	0,138	0,170	0,041	0,407	5,593	0,192	0,717	0,0251	0,4502	0,1856	54,1%	
1014		995	0,279	0,0111	0,345	0,139	0,173	0,042	0,099	5,901	0,202	0,794	0,0278	0,4639	0,1993	55,8%	
1015		996	0,277	0,0111	0,343	0,138	0,172	0,041	0,283	5,717	0,198	0,756	0,0265	0,4575	0,1929	54,8%	
1016		997	0,267	0,0087	0,319	0,133	0,160	0,036	1,423	4,577	0,153	0,467	0,0163	0,4074	0,1428	45,7%	
1017		998	0,276	0,0054	0,309	0,138	0,154	0,028	0,682	5,318	0,130	0,461	0,0161	0,4042	0,1396	46,2%	
1018		999	0,275	0,0105	0,337	0,137	0,169	0,040	0,473	5,527	0,188	0,694	0,0243	0,4459	0,1813	53,6%	
1019		1000	0,273	0,0146	0,361	0,137	0,180	0,048	0,407	5,593	0,227	0,847	0,0297	0,4823	0,2177	54,5%	
1020																	

Рисунок 4.11 – Обчислення середнього об'єму дощок параболічної форми

AVERAGE		▼ f_x ✖ ✔		=M10-M7*M11/SQRT(M5-1)]																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q				
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
1009																					
1010																					
1011																					
1012																					
1013																					
1014																					
1015																					
1016																					
1017																					
1018																					
1019																					
1020																					

Рисунок 4.13 – Обчислення нижньої межі довірчого інтервалу оцінки об'єму дощок параболічної форми

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3			Вихідні дані														
4		L	6 м														
5		d min	26 см			0,260 м											
6																	
7		d max	28 см			0,280 м											
8																	
9		S	10 мм/м			0,0100 м/м											
10																	
11		Cs	0,2														
12		σs															
13		h	140 мм			0,002 м/м											
14		h0	105 мм			0,140 м											
15						0,105 м											
16																	
17																	
18																	
19		№	d	s	D	r	R	a	delta l	l	B	S	Vb	Vl	Vs	K	
20		1	0,261	0,0141	0,346	0,131	0,173	0,046	1,178	4,822	0,203	0,652	0,0228	0,4427	0,1781	51,3%	
21		2	0,277	0,0128	0,354	0,139	0,177	0,045	0,190	5,810	0,216	0,838	0,0293	0,4761	0,2115	55,5%	
22		3	0,266	0,0081	0,314	0,133	0,157	0,034	1,662	4,338	0,143	0,413	0,0144	0,3991	0,1345	43,0%	
23		4	0,267	0,0072	0,310	0,133	0,155	0,032	1,740	4,260	0,133	0,378	0,0132	0,3942	0,1296	40,9%	
1009		990	0,273	0,0080	0,321	0,136	0,160	0,035	0,837	5,163	0,157	0,540	0,0189	0,4180	0,1534	49,3%	
1010		991	0,260	0,0093	0,316	0,130	0,158	0,037	1,980	4,020	0,147	0,394	0,0138	0,3953	0,1307	42,2%	
1011		992	0,262	0,0094	0,318	0,131	0,159	0,037	1,842	4,158	0,150	0,416	0,0146	0,3990	0,1344	43,3%	
1012		993	0,275	0,0084	0,325	0,137	0,163	0,035	0,584	5,416	0,165	0,596	0,0209	0,4268	0,1622	51,5%	
1013		994	0,275	0,0107	0,340	0,138	0,170	0,041	0,407	5,593	0,192	0,717	0,0251	0,4502	0,1856	54,1%	
1014		995	0,279	0,0111	0,345	0,139	0,173	0,042	0,099	5,901	0,202	0,794	0,0278	0,4639	0,1993	55,8%	
1015		996	0,277	0,0111	0,343	0,138	0,172	0,041	0,293	5,717	0,198	0,756	0,0265	0,4575	0,1929	54,8%	
1016		997	0,267	0,0087	0,319	0,133	0,160	0,036	1,423	4,577	0,153	0,467	0,0163	0,4074	0,1428	45,7%	
1017		998	0,276	0,0054	0,309	0,138	0,154	0,028	0,682	5,318	0,130	0,461	0,0161	0,4042	0,1396	46,2%	
1018		999	0,275	0,0105	0,337	0,137	0,169	0,040	0,473	5,527	0,188	0,694	0,0243	0,4459	0,1813	53,6%	
1019		1000	0,273	0,0146	0,361	0,137	0,180	0,048	0,407	5,593	0,227	0,847	0,0297	0,4823	0,2177	54,5%	
1020																	

Рисунок 4.14 – Обчислення верхньої межі довірчого інтервалу оцінки об'єму дощок параболічної форми

AVERAGE		f _x ✗ ✓		=C4*(2*F14)^2		E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
1009																		
1010																		
1011																		
1012																		
1013																		
1014																		
1015																		
1016																		
1017																		
1018																		
1019																		
1020																		

№	d	s	D	r	R	a	delta l	l	B	S	V _B	V _L	V _S	K
1	0,261	0,0141	0,346	0,131	0,173	0,046	1,178	4,822	0,203	0,652	0,0228	0,4427	0,1781	51,3%
2	0,277	0,0128	0,354	0,139	0,177	0,045	0,190	5,810	0,216	0,838	0,0293	0,4761	0,2115	55,5%
3	0,266	0,0081	0,314	0,133	0,157	0,034	1,662	4,338	0,143	0,413	0,0144	0,3991	0,1345	43,0%
4	0,267	0,0072	0,310	0,133	0,155	0,032	1,740	4,260	0,133	0,378	0,0132	0,3942	0,1296	40,9%
990	0,273	0,0080	0,321	0,136	0,160	0,035	0,837	5,163	0,157	0,540	0,0189	0,4180	0,1534	49,3%
991	0,260	0,0093	0,316	0,130	0,158	0,037	1,980	4,020	0,147	0,394	0,0138	0,3953	0,1307	42,2%
992	0,262	0,0094	0,318	0,131	0,159	0,037	1,842	4,158	0,150	0,416	0,0146	0,3990	0,1344	43,3%
993	0,275	0,0084	0,325	0,137	0,163	0,035	0,584	5,416	0,165	0,596	0,0209	0,4268	0,1622	51,5%
994	0,275	0,0107	0,340	0,138	0,170	0,041	0,407	5,593	0,192	0,717	0,0251	0,4502	0,1856	54,1%
995	0,279	0,0111	0,345	0,139	0,173	0,042	0,099	5,901	0,202	0,794	0,0278	0,4639	0,1993	55,8%
996	0,277	0,0111	0,343	0,138	0,172	0,041	0,283	5,717	0,198	0,756	0,0265	0,4575	0,1929	54,8%
997	0,267	0,0087	0,319	0,133	0,160	0,036	1,423	4,577	0,153	0,467	0,0163	0,4074	0,1428	45,7%
998	0,276	0,0054	0,309	0,138	0,154	0,028	0,682	5,318	0,130	0,461	0,0161	0,4042	0,1396	46,2%
999	0,275	0,0105	0,337	0,137	0,169	0,040	0,473	5,527	0,188	0,694	0,0243	0,4459	0,1813	53,6%
1000	0,273	0,0146	0,361	0,137	0,180	0,048	0,407	5,593	0,227	0,847	0,0297	0,4823	0,2177	54,5%

Рисунок 4.15 – Обчислення об’єму чотирикантового бруса;

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
1009																	
1010																	
1011																	
1012																	
1013																	
1014																	
1015																	
1016																	
1017																	
1018																	
1019																	
1020																	
.....																	

Рисунок 4.16 – Обчислення середнього об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми

AVERAGE		f _x ✗ ✓		=4*M20/020		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						
18																						
19																						
20																						
21																						
22																						
23																						
1009																						
1010																						
1011																						
1012																						
1013																						
1014																						
1015																						
1016																						
1017																						
1018																						
1019																						
1020																						

Рисунок 4.17 – Обчислення коефіцієнта використання об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
1009																	
1010																	
1011																	
1012																	
1013																	
1014																	
1015																	
1016																	
1017																	
1018																	
1019																	
1020																	

Рисунок 4.17 – Обчислення середнього коефіцієнта використання об'єму параболічної зони колоди, використаної для виготовлення дощок параболічної форми

5 ТЕХНОЛОГІЧНА ЛІНІЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РЕЙКОВИХ ЗАГОТОВАНOK З ПАРАБОЛІЧНОЇ ЗОНИ КОЛОДИ

При обґрунтуванні складу технологічної лінії будемо виходити з того, що розпилювання колод здійснюється з брукуванням [11] (що є достатньо типовим - наприклад, при виготовленні дощок для використання в дерев'яних конструкціях). Що стосується параболічної зони колод, яка охоплює зону збігу та, частково, циліндричну зону, то з неї передбачається виготовлення дощок параболічної форми й наступне їх перероблення в рейкові заготовки для виробництва клеєних меблевих і столярно-будівельних виробів. При виборі дереворізальних верстатів і допоміжного обладнання будемо орієнтуватися на продукцію вітчизняних виробників.

Отже, розпилювання колод пропонується розпочинати на стрічкوپилковому верстаті СЛП-6,5 [2]. Перевагою цього верстата є наявність системи повного автоматичного управління процесом розпилювання колод з оптимізацією режиму різання. Максимальна товщина розпилюваних колод - 85 см, а довжина - 6,5 м. Потужність електродвигуна приводу пилки становить 11 кВт. Точність позиціонування пилкового механізму по вертикалі - у межах $\pm 0,1$ мм [2].

Зрізаний обпiл спрямовується на обпiльно-ребровий верстат виробництва фірми PSTech [5], де переробляються на дошки параболічної форми за допомогою круглої пилки. Верстат може оснащуватися електродвигуном приводу круглої пилки потужністю від 11 кВт до 18 кВт. Верстат має механічну подачу обпiла за допомогою електродвигуна потужністю від 0,55 кВт до 0,75 кВт. Швидкість подачі становить 15 м/хв. Для регулювання швидкості подачі може використовуватися перетворювач частоти [5].

Розпилювання дощок параболічної форми на рейки здійснюється на верстаті багатопилковому СРП-160 [1]. Цей верстат є рамнопилковим, що дає змогу зменшити втрати деревини в тирсу завдяки малій ширині пропилу - 1,5 мм, що суттєво менше, ніж товщина зубців круглих пилок, використовуваних у багатопилкових верстатах (типово – від 2,8 мм до 3,7 мм). При цьому

мінімальна товщина отримуваної рейки може становити 4 мм, що багаторазово більше, ніж у багатопилкових круглопилкових верстатах і, за потреби, дає змогу отримувати рейки радіального розпилювання (ширина яких дорівнює товщині дошки параболічної форми). Максимальна кількість встановлюваних пилок становить 25 шт. Швидкість подачі регулюється в межах від 0,5 м/хв до 1,5 м/хв [1].

Надання рейковим заготовкам чистової форми (з видаленням залишків обзола) здійснюється на торцювальному СТ-350 [3]. Діаметр пилки – 350 мм, Потужність електродвигуна – 3 кВт. Верстат має прийомний і подавальний столи-рольганги [3].

У технологічній лінії використовується допоміжне устаткування – Естакада – накопичувач колод НБ-6,5 [7], а також накопичувально-подавальний транспортер, механізм поштучного подавання колод, рольганг приводний і стрічковий транспортер, модифікації яких вибираються залежно від виробничих умов [8].

Після механічного оброблення заготованок вони спрямовуються на сушіння. Сушіння саме рейкових заготованок, а не дощок, з яких вони виготовляється, дає змогу заощадити теплову енергію та більш повно використати об'єм сушильної камери.

ВИСНОВКИ

Розроблена методика моделювання розпилювання колод із перероблянням обапола в дошки із зовнішньою пластью параболічної форми (з яких далі виготовляються рейкові заготовки для меблевих і столярно-будівельних виробів) дає змогу оцінювати вплив товщини і розташування зазначених дощок у поставі (схемі розпилювання колод) на їх середній об'єм і об'єм зони колоди, використаної для їх виготовлення.

При цьому колода розглядається як параболоїд обертання, а діаметр верхнього торця колоди та її збіг – як випадкові величини. Моделювання здійснюється методом Монте-Карло з наступною статистичною обробкою результатів для визначення довірчого інтервалу зазначеного об'єму. Це дає змогу порівнювати постави й вибирати найбільш ресурсоощадні.

Запропоновано основне обладнання (стрічкопилковий верстат для розпилювання колод, обапільно-ребровий верстат для переробляння обапола в дошки параболічної форми, рамковопилковий верстат для розпилювання цих дощок на рейки та торцювальний верстат для надання чистової форми рейковим заготовкам) технологічної лінії для виготовлення рейкових заготовок з параболічної зони колоди.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Верстат багатопильний СРП-160. <https://magr.ua/products/verstat-ramnopolnyj-srp-160> (дата звернення 19.10.2024)
2. Верстат стрічкопильний СЛП-6,5 «УМКА» 11 кВт. <https://www.magr.ua/products/verstat-strichkopylnyj-slp-6-5-umka-11-kvt> (дата звернення 10.09.2024)
3. Верстат торцювальний СТ-350. https://magr.ua/products/174__ (дата звернення 25.09.2024)
4. Гнеденко Б. В. Курс теорії ймовірностей : підручник. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. 464 с.
5. Горбильно-ребровой верстат PSTech. <https://pstech-ukraine.com/ua/p1470096557-gorbylno-rebrovoj-stanok.html> (дата звернення 18.10.2024)
6. Грицюк Ю. І., Яцишин С. І.. Моделювання твірних поверхонь стовбурів деревини за допомогою сплайн-функцій. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2018. Том 17. С. 165-177.
7. Естакада — накопичувач колод НБ-6,5. <https://magr.ua/products/estakada-nakopychuvach-kolod-nb-6-5> (дата звернення 19.10.2024)
8. Засоби механізації деревообробних підприємств. https://www.kb-doroshenko.com/Zasoby_mehanizacii_derevoobrobnyh_pidpryjemstv (дата звернення 19.10.2024)
9. Заяць І.М, Шувалюк О.В. До питання раціонального використання горбилів. *Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету*. 2001. Вип. 11.1. С. 110- 113.
10. Маєвський В., Вус А.. Моделювання розпилювання колоди розвальним способом на пиломатеріали з урахуванням її реальної форми. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: «Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика»*. 2011. № 711. С. 91 – 100.

11. Носовський Т.А., Мацюк Р.І., Маслій В.В. Технологія лісопильно-деревобробних виробництв. К.: НМК ВО, 1993. 196 с.
12. Пінчевська О.О., Марченко Н.В. Теорія і практика лісопиляння : Монографія. К.: Освіта України, 2013. 224 с.
13. Andrii Bilous, Viktor Myroniuk, Viktor Svynchuk, Oleksandr Soshenskyi, Oleksandr Lesnik, Yaroslav Kovbasa. Semi-empirical estimation of log taper using stem profile equations. *Journal of Forest Science*. Vol. 67/ 2021 (7). Pp. 318–327. doi.org/10.17221/209/2020-JFS
14. Brandstetter, M., Campean, M. Considerations regarding the correlation between the log conversion efficiency and the taper for resinous (fir) logs. *Proceedings of ICWSE*. 2019. Pp. 649–654.
15. Chiorescu, S., P. Berg, & A. Grönlund.. The fingerprint approach: Using data generated by a 2-axis log scanner to accomplish traceability in the sawmill's log yard. *Forest Products journal*. 2003. 53(2). Pp. 78-86.
16. Chiorescu, S., & Grönlund, A. The Fingerprint Method: Using Over-bark and Under-bark Log Measurement Data Generated by Three-dimensional Log Scanners in Combination with Radiofrequency Identification Tags to Achieve Traceability in the Log Yard at the Sawmill. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2004. 19(4), 374–383. <https://doi.org/10.1080/02827580410030118>
17. Lin W, Wang J., Thomas E. A three-dimensional optimal sawing system for small sawmills in central Appalachia. *Proceedings of the 17th Central Hardwood Forest Conference GTR-NRS-P-78*. 2011. Pp. 67–76.
18. Magnus Fredriksson, Olof Broman, Fredrik Persson, Ann Axelsson, Pedro Ah Shenga. Rotational Position of Curved Saw Logs and Warp of the Sawn Timber. *Wood Material Science and Engineering*. 2013. <https://doi.org/10.1080/17480272.2013.853691>
19. Pinto I., Pereira H., Usenius A. Analysis of log shape and internal knots in twenty Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems based on visual scanning and computer aided reconstruction. *Annals of Forest Science*. 2003. 60. Pp. 137–144.

URL : <https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/2003/02/F3206.pdf> (дата звернення 14.05.2024)

20. Pyörälä J., Kankare V., Liang X., Saarinen N., Rikala J., Kivinen V.-P., Sipilä M., Holopainen M., Hyyppä J., Vastaranta M. Assessing log geometry and wood quality in standing timber using terrestrial laser-scanning point clouds. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2019. 92(2). Pp. 177–187. URL : <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy044>

21. Rais A., Ursella E., Vicario E., Giudiceandrea F. The use of the first industrial X-ray CT scanner increases the lumber recovery value: case study on visually strength-graded Douglas-fir timber. *Annals of Forest Science*. 2017. Vol. 74:28. 9 P. doi: 10.1007/s13595-017-0630-5

22. Sorin Chiorescu, Anders Grönlund. The fingerprint approach: Using data generated by a 3D log scanner on debarked logs to accomplish traceability in the sawmill's log yard. *Forest Products Journal*. 2002. Vol. 54. No 12. Pp. 269–276.

23. Wei Q., Leblon B., La Rocque A. On the use of X-ray computed tomography for determining wood properties: a review. *Canadian journal of forest research*. 2011. Vol. 41. P. 2120–2140. doi:10.1139/X11-111