

mm)", which is characterized by resistance to heat transfer and specific heat flow.

Felts, thermal properties, sandwich panels, livestock facilities, temperature, heat transfer.

УДК 677.057.617

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВАЛЯННЯ ГРУБОЇ ОВЕЧОЇ ВОВНИ В ПОВСТЯНИЙ ПЛАСТ НА МАЛОГАБАРИТНІЙ ПЛИТНО-ВАЛЯЛЬНІЙ МАШИНІ

Е.Б. Алієв, кандидат технічних наук

Інститут олійних культур НААН

С.І. Павленко, кандидат технічних наук

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

Виходячи з умов інтенсифікації процесу валяння грубої овечої вовни в повстяний пласт обґрунтовано геометричні параметри рифлів робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини. З умови максимальної площі дії напруженості, яка виникає в шарі грубої овечої вовни під час навантаження встановлено геометрію рифлів робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини.

Вовна, повсть, валяння, математична модель, рифлі, функція.

Постановка проблеми. Аналізуючи результати попередніх експериментальних досліджень [1–4] процесу ущільнення зволоженої грубої овечої вовни було виявлено, що її деформація під дією робочої поверхні верхньої рухомої плити із рифлями відбувається не рівномірно за її товщиною.

Аналіз останніх досліджень. Ці спостереження привели до гіпотези про взаємодію робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини із зволоженою грубою овечою вовною, згідно якої використання поверхні із рифлями у порівнянні з плоскою поверхнею призводить до збільшення площі дії напруженості, яка виникає в шарі грубої вовни під час навантаження.

Мета досліджень. Обґрунтувати геометричні параметри рифлів робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини.

© Е.Б. Алієв, С.І. Павленко, 2015

Результати досліджень. Для перевірки висунутої гіпотези щодо доцільності використання рифлів на робочій поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини розглянемо напружено-деформаційний стан зволоженої грубої вовни, яка навантажена по всій області на її поверхні. В прийнятій системі координат гранична поверхня співпадає з площиною XY , а вісь OZ направлена по товщині вовни. Навантаження направлено паралельно вісі OY і має ширину $2a$ повздовж вісі OX ; по цій вісі діють нормальні і дотичні зусилля, які залежать тільки від координати x . Приймаємо, що в грубій вовні в результаті прямолінійного навантаження реалізується стан плоскої деформації, тобто $\epsilon_y = 0$.

На рис. 1 представлено переріз шару зволоженої грубої овечої вовни. Поверхневі зусилля $p(x)$ і $q(x)$ діють на границю на ділянці від $x = -a$ до $x = a$. Визначимо компоненти напружень, які спричинені зусиллями $p(x)$ і $q(x)$ у будь якій точці.

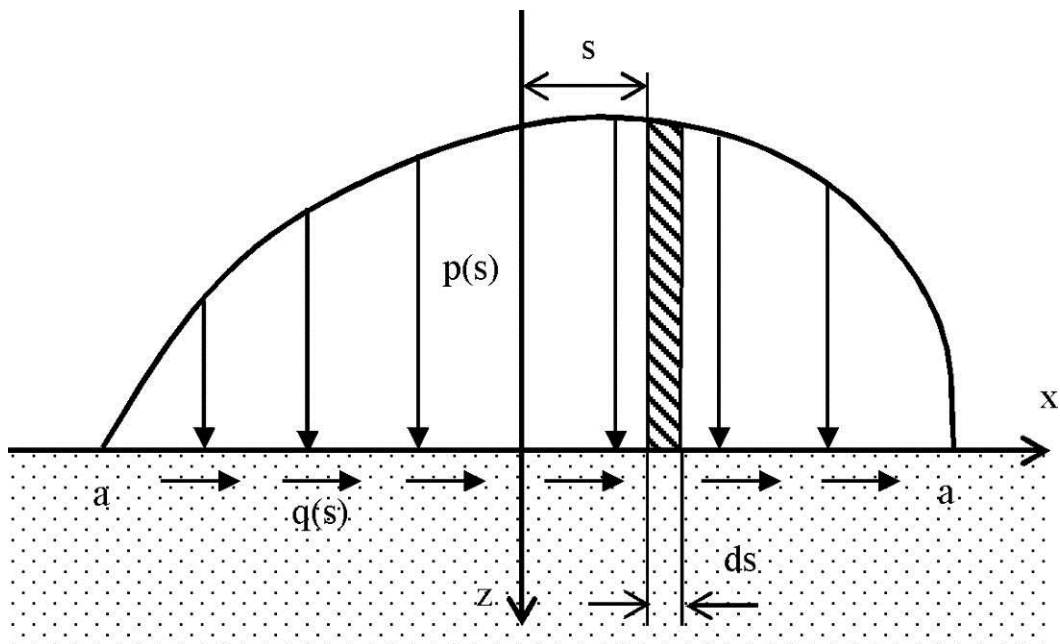


Рис. 1. Розрахункова схема деформації зволоженої грубої вовни.

Рівняння рівноваги напруженості для плоскої задачі має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

де: σ_x , σ_z – нормальні напруженості, що діють на елемент грубої овечої вовни вздовж OX і OZ ; τ_{xz} – дотичне напруження, що діє на елемент грубої овечої вовни.

Відповідні деформації ϵ_x , ϵ_z і γ_{xz} повинні задовольняти рівнянню сумісності:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xz}}{\partial x \partial z}, \quad (2)$$

де: $\varepsilon_x, \varepsilon_z$ – лінійна деформація елемента грубої вовни вздовж OX і OZ; γ_{xz} – кутова деформація елемента грубої овечої вовни.

В умовах плоскої деформації маємо:

$$\varepsilon_y = 0, \quad \sigma_y = \nu(\sigma_x + \sigma_z), \quad (3)$$

тоді рівняння для пружно-в'язко-пластичного тіла, що пов'язує напруженість і деформацію має вигляд:

$$\begin{aligned} \eta \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial t} + E \varepsilon_x &= \xi [(1 - \nu^2) \sigma_x - \nu(1 + \nu) \sigma_z], \\ \eta \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial t} + E \varepsilon_z &= \xi [(1 - \nu^2) \sigma_z - \nu(1 + \nu) \sigma_x], \\ \eta \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial t} + E \gamma_{xz} &= \xi [2(1 + \nu) \tau_{xz}], \end{aligned} \quad (4)$$

де: η – коефіцієнт в'язкості; E – модуль пружності; ν – коефіцієнт Пуассона; ξ – коефіцієнт пластичності.

В подальшому розрахунку розглянемо стаціонарну задачу (миттєвий момент часу найбільшої деформації), тобто $\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial t} = 0$:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\xi}{E} [(1 - \nu^2) \sigma_x - \nu(1 + \nu) \sigma_z], \\ \varepsilon_z &= \frac{\xi}{E} [(1 - \nu^2) \sigma_z - \nu(1 + \nu) \sigma_x], \\ \gamma_{xz} &= \frac{\xi}{E} [2(1 + \nu) \tau_{xz}]. \end{aligned} \quad (5)$$

Зусилля, що діє на елемент поверхні шириною ds в точці, яка розташована на відстані s від початку координат, можна інтерпретувати, як зосереджені сили [5] величини pds , що діє по нормалі до поверхні, і величини qds по дотичній:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{2z}{\pi \xi} \int_{-a}^a \frac{p(s)(x-s)^2 ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2} - \frac{2}{\pi \xi} \int_{-a}^a \frac{q(s)(x-s)^3 ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2}, \\ \sigma_z &= -\frac{2z^3}{\pi \xi} \int_{-a}^a \frac{p(s) ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2} - \frac{2z^2}{\pi \xi} \int_{-a}^a \frac{q(s)(x-s) ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2}, \\ \tau_{xz} &= -\frac{2z^2}{\pi \xi} \int_{-a}^a \frac{p(s)(x-s) ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2} - \frac{2z}{\pi \xi} \int_{-a}^a \frac{q(s)(x-s)^2 ds}{[(x-s)^2 + z^2]^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Розглянемо напружено-деформаційний стан зволоженої грубої вовни під дією навантаження $p(x) = \text{const}$, $q(x) = 0$, яке спричинено плоскою робочою поверхнею верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини (рис. 2). При цьому відносна деформації вздовж вісі OZ становитиме:

$$\varepsilon_z(x) = \varepsilon_0 = \text{const}. \quad (7)$$

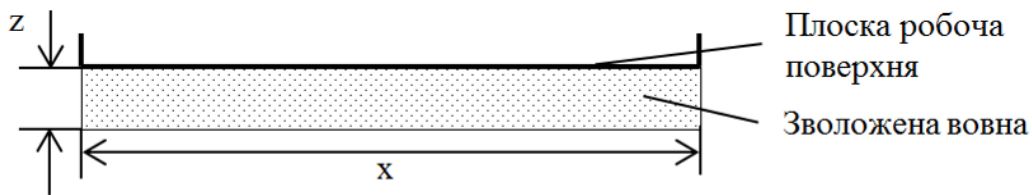


Рис. 2. Плоска робоча поверхня верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини.

Вирішуючи систему диференціальних рівнянь (5)-(7) чисельними методами у програмному пакеті Maple і враховуючи, що $p(x) = p_0 = \text{const}$ і $q(x) = 0$, отримуємо графіки розподілу нормальних напруженостей σ_z і σ_x в кожній точці шару зволоженої грубої овечої вовни (рис. 3).

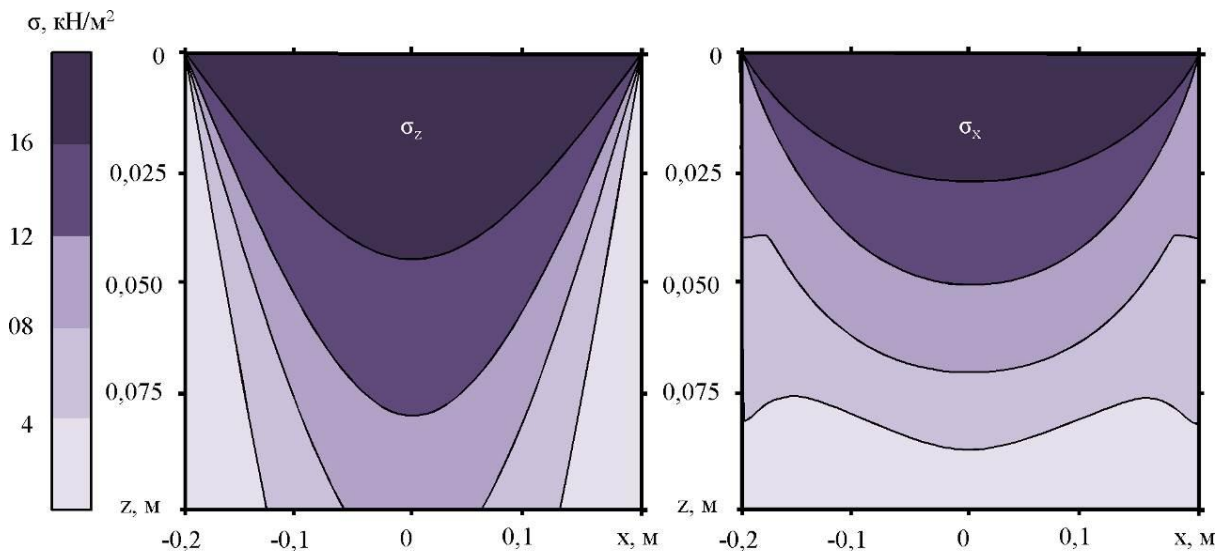


Рис. 3. Графіки розподілу нормальних напруженостей σ_z і σ_x в кожній точці шару зволоженої грубої вовни під дією плоскої робочої поверхні.

Розглянемо напружено-деформаційний стан зволоженої грубої овечої вовни під дією навантаження $p(x)$, $q(x) = 0$, яке спричинено робочою поверхнею плитно-валяльної машини із рифлями (рис. 4). Для спрощення розрахунків приймаємо профіль робочої поверхні у вигляді функції $z = \frac{\lambda}{2} \cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right)$. При цьому відносна деформації вздовж вісі OZ становитиме:

$$\varepsilon_z(x) = \varepsilon_0 + \frac{\lambda}{2H} \cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right). \quad (8)$$

де: λ – геометричний параметр рифлів (параметр, що характеризує частоту коливань профілю робочої поверхні рифлів); H – товщина шару вовни.

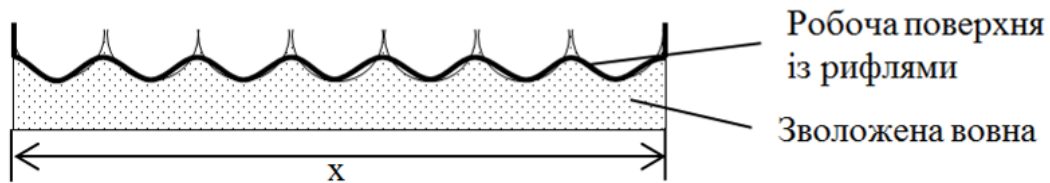


Рис. 3. Робоча поверхня верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини із рифлями.

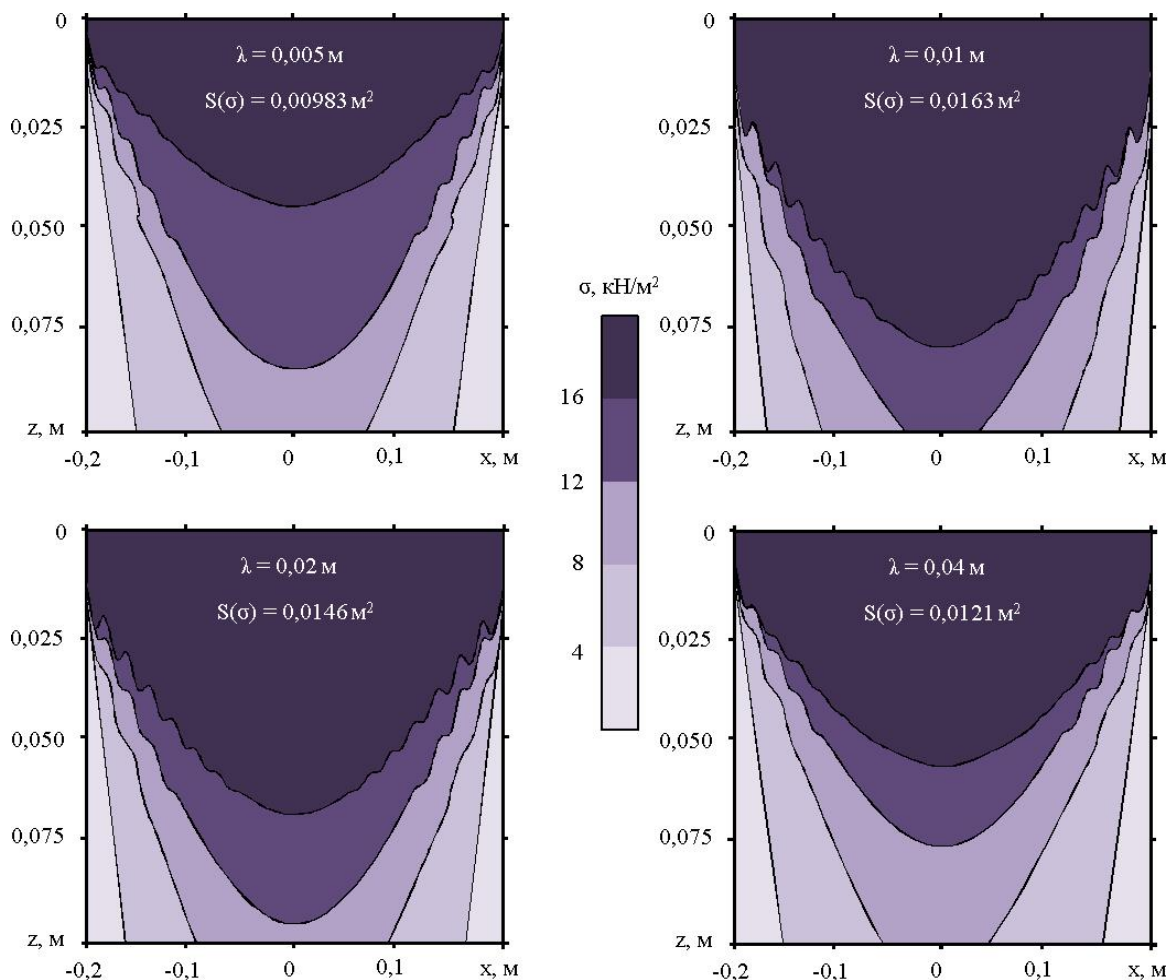


Рис. 4. Графіки розподілу нормальної напруженості σ_z в кожній точці шару зволоженої грубої овечої вовни під дією робочої поверхні верхньої рухомої плити із рифлями з різним геометричним параметром λ .

Згідно досліджень [5] синусоїдальна форма поверхні преса призводить до синусоїдальних змін напруженості по всій площі дії в матеріалі, що пресується. Тому вирішуючи систему диференціальних рівнянь чисельними методами в програмному пакеті Maple і врахо-

вуючи, що $p(x) = p_0 \cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right)$ і $q(x) = 0$, отримуємо графіки розподілу нормальної напруженості σ_z в кожній точці шару зволоженої грубої овечої вовни при різному геометричному параметрі рифлів λ (рис. 5).

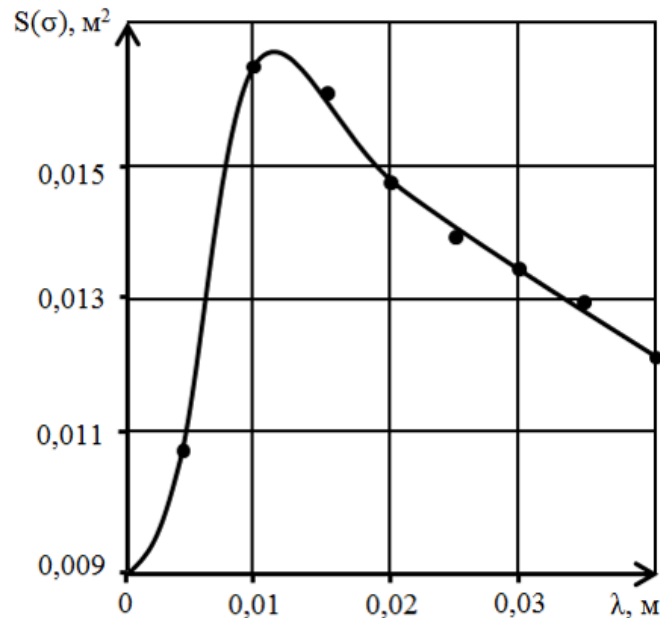


Рис. 5. Графік залежності площі дії напруженості $S(\sigma)$ від геометричного параметра рифлів λ .

Графік залежності площі дії напруженості від геометричного параметра рифлів (рис. 5) підтверджує поставлену гіпотезу про взаємодію робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини зі зволоженою грубою овечою вовною [6]. З рис. 5 видно, що максимальна площа дії напруженості спостерігається при геометричному параметрі рифлів $\lambda = 0,011$ м. Відповідно до цього геометрія рифлів робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини повинна бути представлена у вигляді функції $z = \frac{\lambda}{2} \cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right) = 0,0055 \cdot \cos(285,6 \cdot x)$ (м).

Висновок. Виходячи з умов інтенсифікації процесу валяння грубої овечої вовни в повстятий пласт обґрунтовано геометричні параметри рифлів робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини. З умови максимальної площі дії напруженості, яка виникає в шарі грубої овечої вовни під час навантаження встановлено геометрію рифлів робочої поверхні верхньої рухомої плити малогабаритної плитно-валяльної машини у вигляді функції $z = \frac{\lambda}{2} \cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right) = 0,0055 \cdot \cos(285,6 \cdot x)$ (м).

Список літератури

1. Запорощенко К.Л. Теоретическое и экспериментальное исследование упругих свойств натуральной шерсти / К.Л. Запорощенко, И.М. Кузнецов // Изв. вузов технология текст., пром-сти. – 1989. – №2. – С. 25–30.
2. Энхбаатар П. Определение деформационных характеристик слоя шерсти / Энхбаатар П., Демидов А.В., Фомин Ю.Г. // Вестник НПО. – 2002. – Вып. 5. – С. 29–32.
3. Демидов А.В. Исследование деформационных характеристик слоя шерсти / А.В. Демидов // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой пром-ти. (Поиск-2003). Тез. докл. межвуз. научн.- техн. конф. – Иваново, 2003. – С. 108–110.
4. Розробити новітні ресурсозберігаючі технологічні процеси та засоби механізації ведення високопродуктивного м'ясо-молочного вівчарства: Звіт про НДР (заключ.) / Ін-т мех. тваринництва НААН. – 40.03-021: № ДР 0106U004738, Інв. № 0211U000499. – Запоріжжя, 2010. – 137 с.
5. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 508 с.
6. Алієв Е.Б. Теоретичне обґрунтування геометричних параметрів рифлів робочої поверхні плитно-валяльної машини / Е.Б. Алієв, В.В. Івлєв, А.В. Грицун // Вібрації в техніці та технологіях. – 2013. – №4 (72). – С. 86–91.

Исходя из условий интенсификации процесса валяния грубой овечьей шерсти в войлочный полост обоснованно геометрические параметры рифлей рабочей поверхности верхней подвижной плиты малогабаритной плитно-валяльно машины. Из условия максимальной площади действия напряженности, которая возникает в слое грубой овечьей шерсти во время нагрузки установлено геометрию рифлей рабочей поверхности верхней подвижной плиты малогабаритной плитно-валяльно машины.

Шерсть, войлок, валяние, математическая модель, рифли, функция.

Based on the conditions of intensification of the process of felting coarse wool felt in cavities reasonable geometric parameters of corrugation working surface of the upper movable plate compact plate-felling machine. From the condition of the maximum area of action of tension that occurs in a layer of coarse wool during exercise found corrugation geometry of the working surface of the upper movable plate compact plate-felling machine.

Wool, felt, felting, mathematical model, ruffles, function.