III. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА

Алієв Е. Б.
Івлєв В. В.
ННЦ "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства"
Грицун А. В.
Вінницький національний аграрний університет
Aliev E. B.
Ivlev V. V.
Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture
Gritsun A. V.
Vinnytsia National Agrarian University

УДК 621.77:677.3

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РИФЛІВ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ПЛИТНО-ВАЛЯЛЬНОЇ МАШИНИ

Анотація. *Розроблена математична модель взаємодії робочої поверхні плитно-валяльної машини із зволоженою вовною. Встановлено, що використання робочої поверхні із рифлями в порівнянні із плоскою поверхнею призводить до збільшення площі дії напруженості, яка виникає в вовні під час навантаження. Визначені геометричні параметри рифлів робочої поверхні плитно-валяльної машини*

Ключові слова: *вовна, плитно-валяльна машина, робоча поверхня, рифлі, напруженість, деформація.*

Постановка проблеми. Для забезпечення технологічного процесу валяння грубої вовни в повсть [1] розроблено плитно-валяльну машину періодичної дії (рис. 1). ЇЇ робочим органом є плита із рифлями, яка здійснює зворотно-поступовий рух за рахунок роботи дебалансового вібродвигуна, і тим самим забезпечує високий ступень ущільнення зволоженої грубої вовни [2]. Цілісне уявлення про хід робочого процесу валяння грубої вовни у повсть неможливе без дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів плитно-валяльної машини на показники продуктивності й якості її роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз експериментальних і теоретичних досліджень напружено-деформаційного стану волокнистих матеріалів [3, 4, 5] та спостерігаючи за процесом пресування зволоженої вовни у попередніх експериментальних досліджень [6, 7] було виявлено, що її деформація під дією робочої поверхні із рифлями відбувається не рівномірно по її товщині.

Невирішені частини проблеми. Проведений аналіз і спостереження привели до гіпотези про взаємодію робочої поверхні плитно-валяльної машини із зволоженої вовни, згідно якої використання поверхні із рифлями в порівнянні із плоскою поверхнею призводить до збільшення площі дії напруженості, яка виникає в вовні під час навантаження.

Тому ***метою досліджень*** є обґрунтування геометричних параметрів рифлів робочої поверхні плитно-валяльної машини.

Основні результати дослідження. Для перевірки поставленої гіпотези щодо доцільності використання рифлів на робочій поверхні плитно-валяльної машини розглянемо напружено-деформаційний стан зволоженої вовни, яка навантажена по всій області на її поверхні. На рис. 2 представлено переріз зволоженої вовни. 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 вовні в результаті прямолінійного навантаження реалізується стан плоскої деформації, тобто $\varepsilon_y = 0$.

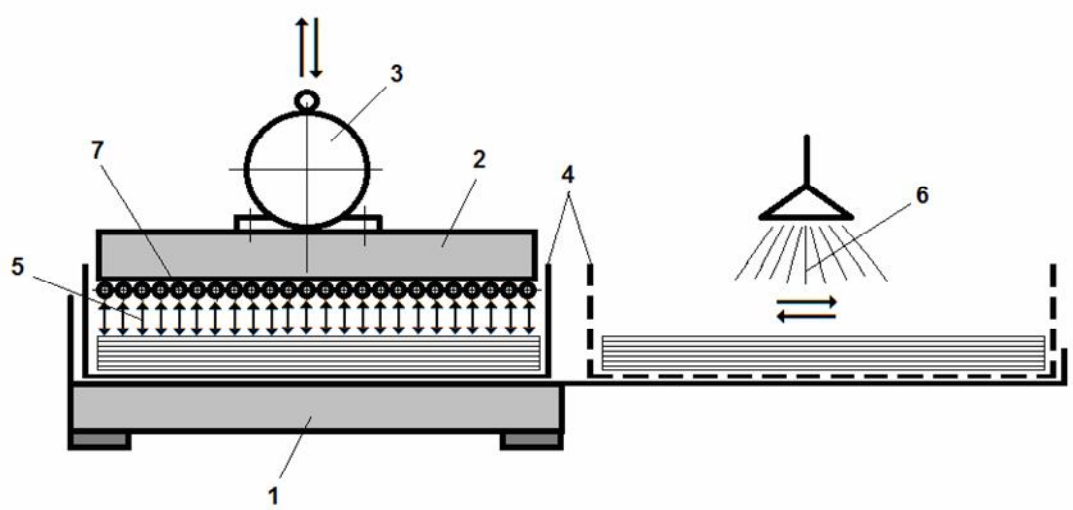

Рис. 1. Конструкційно-технологічна схема плитно-валяльної машина для виготовлення повсті з грубої вовни: 1 – нерухома плита; 2 – верхня робоча плита; 3 – дебалансний вітродвигун; 4 – піддон; 5 – зона валяння; 6 – зона формування і зволоження заготовок; 7 – рифлі поверхні робочої плити

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.

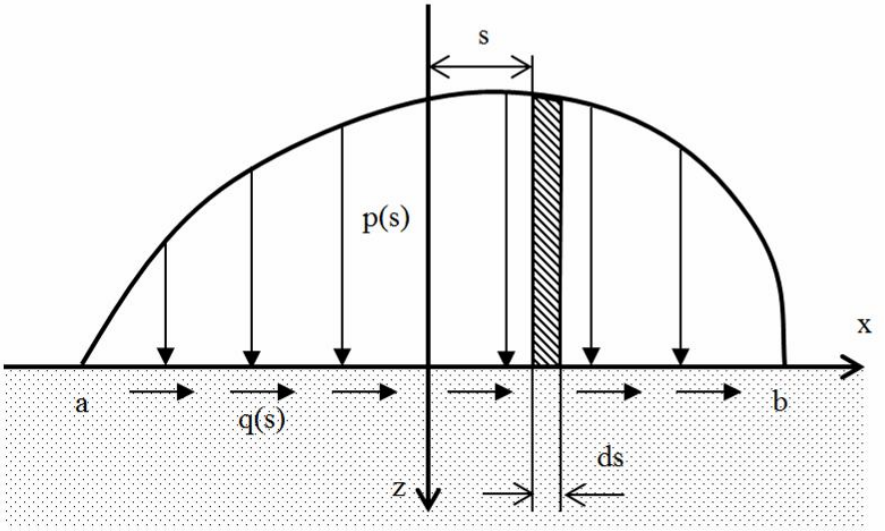

Рис. 2. Розрахункова схема деформації зволоженої вовни

Рівняння рівноваги напруженості для плоскої задачі має вигляд:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0, \qquad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = 0. \tag{1}$$

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

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

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

де ε_x, ε_z – лінійна деформація елемента вовни вздовж OX і OZ; γ_{xz} – кутова деформація елемента вовни.

В умовах плоскої деформації маємо:

$$\varepsilon_y = 0, \qquad \sigma_y = \nu(\sigma_x + \sigma_z), \tag{3}$$

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

$$\eta\frac{\partial\varepsilon_x}{\partial t}+E\varepsilon_x=\xi\left[\left(1-\nu^2\right)\sigma_x-\nu\left(1+\nu\right)\sigma\right]_z,$$

$$\eta\frac{\partial\varepsilon_y}{\partial t}+E\varepsilon_z=\xi\left[\left(1-\nu^2\right)\sigma_z-\nu\left(1+\nu\right)\sigma_x\right], \quad (4)$$

$$\eta\frac{\partial\gamma_{xz}}{\partial t}+E\gamma_{xz}=\xi\left[2\left(1+\nu\right)\tau_{xz}\right],$$

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 $\frac{\partial\varepsilon_x}{\partial t}=0$:

$$\varepsilon_x=\frac{\xi}{E}\left[\left(1-\nu^2\right)\sigma_x-\nu\left(1+\nu\right)\sigma\right]_z,$$

$$\varepsilon_z=\frac{\xi}{E}\left[\left(1-\nu^2\right)\sigma_z-\nu\left(1+\nu\right)\sigma_x\right], \quad (5)$$

$$\gamma_{xz}=\frac{\xi}{E}\left[2\left(1+\nu\right)\tau_{xz}\right].$$

Зусилля, що діє на елемент поверхні шириною ds в точці, яка розташована на відстані s від початку координат, можна інтерпретувати, як зосереджені сили (згідно [8]) величини pds, що діє по нормалі до поверхні, і величини qds по дотичній:

$$\sigma_x=-\frac{2z}{\pi\xi}\int_{-a}^{a}\frac{p(s)(x-s)^2ds}{\left[(x-s)^2+z^2\right]^2}-\frac{2}{\pi\xi}\int_{-a}^{a}\frac{q(s)(x-s)^3ds}{\left[(x-s)^2+z^2\right]^2},$$

$$\sigma_y=-\frac{2z^3}{\pi\xi}\int_{-a}^{a}\frac{p(s)ds}{\left[(x-s)^2+z^2\right]^2}-\frac{2z^2}{\pi\xi}\int_{-a}^{a}\frac{q(s)(x-s)ds}{\left[(x-s)^2+z^2\right]^2},$$

$$\tau_{xz}=-\frac{2z^2}{\pi\xi}\int_{-a}^{a}\frac{p(s)(x-s)ds}{\left[(x-s)^2+z^2\right]^2}-\frac{2z}{\pi\xi}\int_{-a}^{a}\frac{q(s)(x-s)^2ds}{\left[(x-s)^2+z^2\right]^2}. \quad (6)$$

Розглянемо напружено-деформаційний стан зволоженої вовни під дією навантаження p(s) = const, q(s) = 0, яке спричинено плоскої робочої поверхнею плитно-валяльної машини (рис. 3). При цьому відносна деформації вздовж вісі OZ становитиме:

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

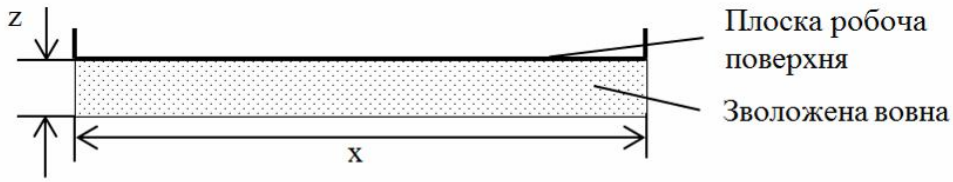

Рис. 3. Плоска робоча поверхня плитно-валяльної машини

Вирішуючи систему диференційних рівнянь (5)-(7) чисельними методами в програмному пакеті Maple і враховуючи, що p(s) = p_0 = const і q(s) = 0, отримуємо графіки розподілу нормальних напруженостей σ_z і σ_x в кожній точці шару зволоженої вовни (рис. 4).

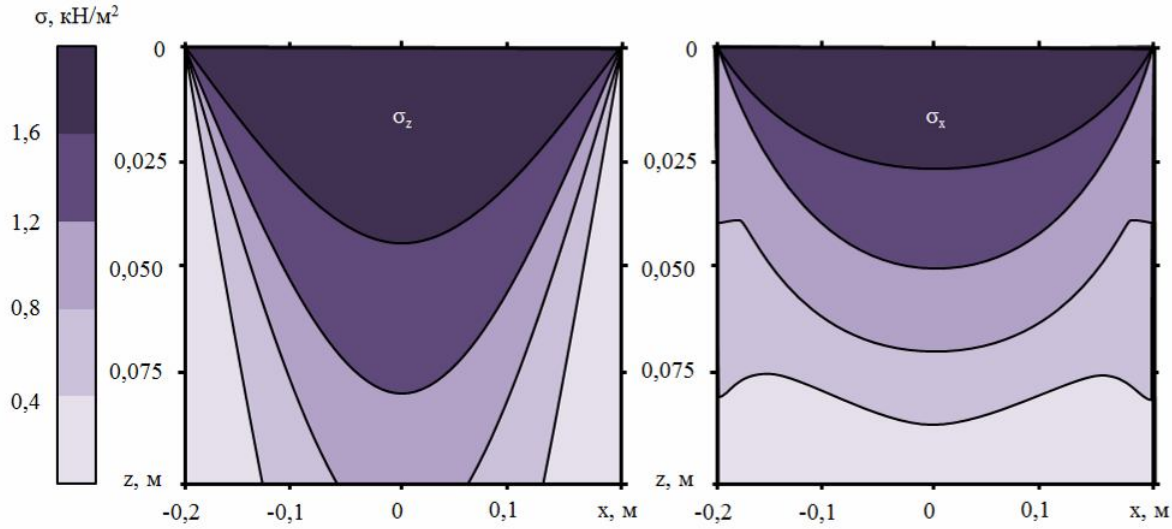

Рис. 4. Графіки розподілу нормальних напруженостей σ_z і σ_x в кожній точці шару зволоженої вовни під дією плоскої робочої поверхні

Розглянемо напружено-деформаційний стан зволоженої вовни під дією навантаження p(s), q(s) = 0, яке спричинено робочої поверхнею плитно-валяльної машини із рифлями (рис. 5). 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:

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

де λ – геометричний параметр рифлів; H – товщина шару вовни.

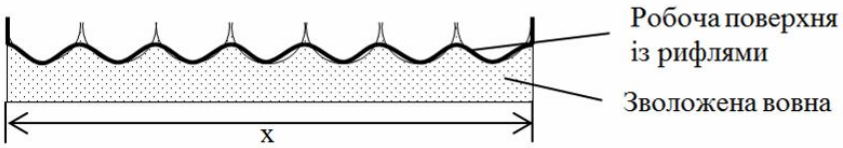

Рис. 5. Робоча поверхня плитно-валяльної машини із рифлями

Згідно досліджень [8] синусоїдальна форма поверхні преса призводить до синусоїдальним змінам напруженості по всій площі дії в матеріалі, що пресується. Тому вирішуючи систему диференційних рівнянь (5), (6) і (8) чисельними методами в програмному пакеті Maple і враховуючи, що $p(s) = p_0\cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right)$ і q(s) = 0, отримуємо графіки розподілу нормальної напруженості σ_z в кожній точці шару зволоженої вовни при різних геометричний параметрів рифлів λ (рис. 6).

Розрахунок площі дії заданої напруженості, згідно з графіків, що приведені на рис. 6 було проведено за формулою:

$$S(\sigma) = \int_{-a}^{a} y(x,\sigma)dx \cdot \qquad (9)$$

де σ – задана напруженість; y(x, σ) – функція перетину поверхні $\sigma_z = \sigma_z(x, y)$ із площиною $\sigma_z = \sigma$.

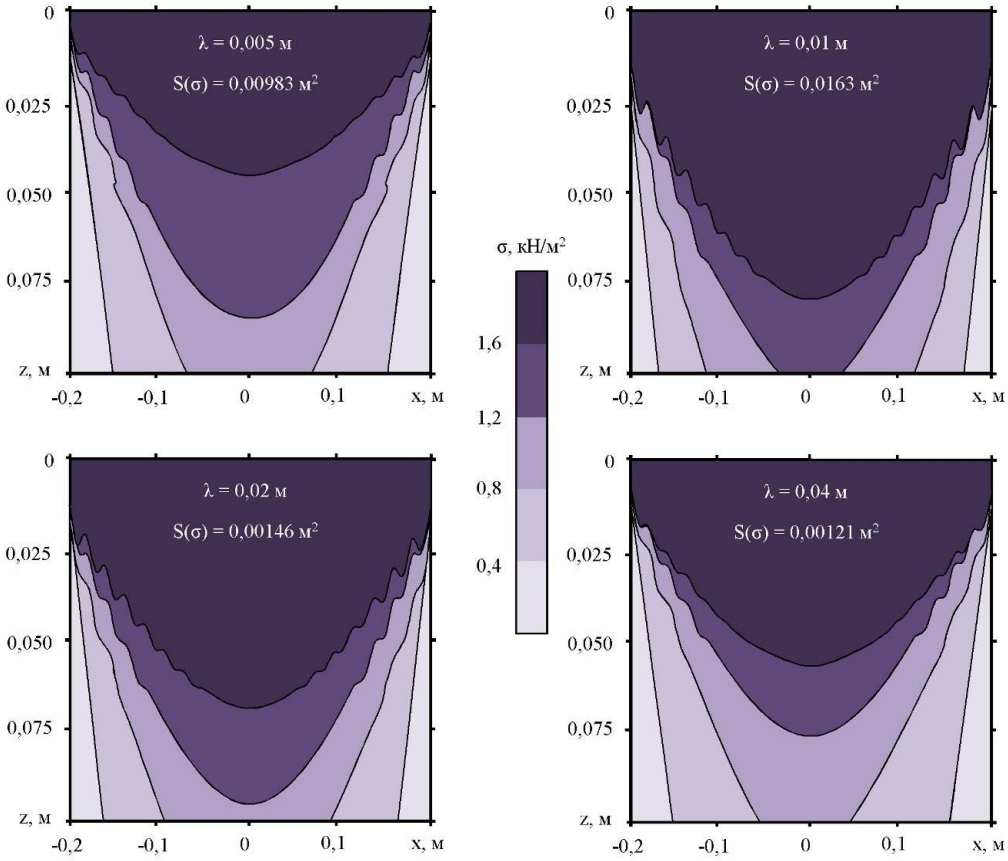

Рис. 6. Графіки розподілу нормальної напруженості σ_z в кожній точці шару зволоженої вовни під дією робочої поверхні із рифлями з різним геометричним параметром λ

Аналіз графіків на рис. 6 і розрахованих площин дії S(σ) заданої напруженості σ > 1,6 кН/м^2 дає змогу встановити залежність визначених площин від геометричного параметра рифлів (рис. 7).

Графік залежності площі дії напруженості від геометричного параметра рифлів (рис. 7) підтверджує поставлену гіпотезу про взаємодію робочої поверхні плитно-валяльної машини із зволоженої вовни. З рис. 7 видно, що максимальна площа дії напруженості спостерігається при геометричному параметрі рифлів λ = 0,011 м. Відповідно до цього геометрія рифлів робочої поверхні плитно-валяльної машини повинна бути представлена у вигляді функції y = 0,0055·cos(285,6·x) (м).

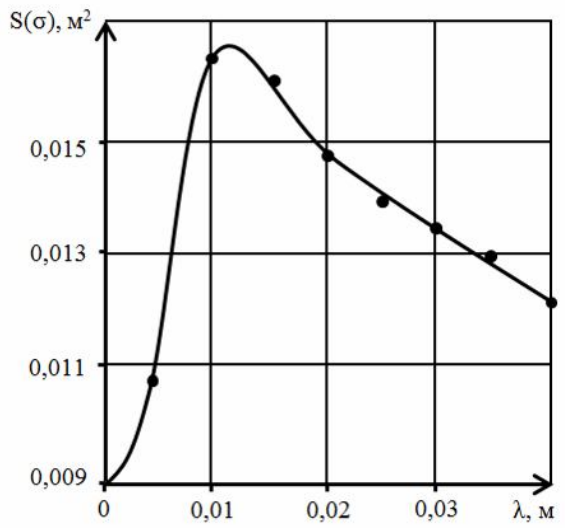

Рис. 7. Графік залежності площі дії напруженості S(σ) від геометричного параметра рифлів λ

Висновки

1. Розроблена математична модель взаємодії робочої поверхні плитно-валяльної машини із зволоженою вовною. Виходячи з умов інтенсифікації процесу валяння вовни в повсть обґрунтовано використання робочої поверхні із рифлями в порівнянні із плоскою поверхнею.

2. З умови максимальної площі дії напруженості, яка виникає в грубій вовні під час навантаження встановлено геометрію рифлів робочої поверхні плитно-валяльної машини у вигляді функції y = 0,0055·cos(285,6·x) (м).

Список використаних джерел

1. Пат. 67501 Україна, МПК (2012) D01B 3/00. Технологічний модуль оброблення та перероблення грубої вовни в повсть / І.А. Шевченко, В.В. Лиходід, В.О. Сухарльов, В.М. Забудченко, С.І. Павленко, В.В., Івлєв; заявник і патентовласник Ін–т мех. тв–ва НААН. – № u 2011 09080; заявл. 20.07.2011; опублік. 27.02.2012, Бюл. №4, 2012 р.

2. Пат. 67502 Україна, МПК (2012) D01H 1/00. Плитно-валяльна машина для виготовлення повсті / І.А. Шевченко, В.В. Лиходід, В.М. Забудченко, С.І. Павленко, В.В, Івлєв; заявник і патентовласник Ін–т мех. тв–ва НААН. – № u 2011 09081; заявл. 20.07.2011; опублік. 27.02.2012, Бюл. №4, 2012 р.

3. Hannes Vomhoff. Dynamic compressibility of watersaturated fibre networks and influence of local stress variations in wet pressing: Ph.D. thesis / Hannes Vomhoff. – Stockholm, 1998. – 74 p.

4. Sanjay Sharma. On the improvement of permeability assessment of fibrous materials: Ph.D. thesis / Sanjay Sharma. – Wichita State University, College of Engineering, 2010. – 146 p.

5. Anne Klaas van der Vegt. A study on the mechanism of wool felting: Ph.D. thesis / Anne Klaas van der Vegt. – Netherlands, 1955. – 101 p.

6. Лиходід В.В. Результати дослідження деформаційних характеристик шару вологонасиченої грубої вовни / В.В. Лиходід, В.В. Івлєв // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2012. – Вип. 1(9). – С. 86-92. – ISSN 2075-1591.

7. Павленко С.І. Дослідження процесу валяння грубої овечої вовни в повсть / С.І. Павленко, В.В. Лиходід, В.В. Івлєв, Є.О. Ренсевич, В.М. Забудченко // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2011. – Вип. 1(7). – С. 197-205. – ISSN 2075-1591.

8. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон – М.: Мир, 1989. – 508 с.

Список джерел в транслітерації

1. Pat. 67501 Ukraina, MPK (2012) D01B 3/00. Tekhnolohichnyy̆ modul obroblennya ta pereroblennya hruboї zovni u povst / I.A. Shevchenko, V.V. Likhodid, V.O. Sukharlov, V.M. Zabudchenko, S.I. Pavlenko, V.V., Ivlyev; zayavnyk y patentovlasnik In-t mekh. tv- va NAAN. – № u 2011 09080; zayavl. 20.07.2011; opublik. 27.02.2012, Byul. № 4, 2012 r.

2. Pat. 67502 Ukraina , MPK (2012) D01H 1/00. Plytno-valyalno mashyna dlya vyhotovlennya povsti / I.A. Shevchenko, V.V. Likhodid, V.M.

Zabudchenko, S.I. Pavlenko, V.V., Ivlyev; zayavnyk y patentovlasnik In-t mekh. tv- va NAAN. – № u 2011 09081; zayavl. 20.07.2011; opublik. 27.02.2012, Byul. № 4, 2012 r.

3. Hannes Vomhoff. Dynamic compressibility of watersaturated fibre networks and influence of local stress variations in wet pressing: Ph.D. thesis / Hannes Vomhoff. – Stockholm, 1998. – 74 p.

4. Sanjay Sharma. On the improvement of permeability assessment of fibrous materials: Ph.D. thesis / Sanjay Sharma. – Wichita State University, College of Engineering, 2010. – 146 p.

5. Anne Klaas van der Vegt. A study on the mechanism of wool felting: Ph.D. thesis / Anne Klaas van der Vegt. – Netherlands, 1955. – 101 p.

6. Likhodid V.V. Rezultaty Doslidzhennya deformatsiynikh kharakterystyk kuli volohonasichenoï hruboi Vivnya / V.V. Likhodid, V.V. Ivlyev // Mekhanizatsiya, ekolohizatsiya ta konvertatsiya biosirovini v tvarinnitstvi: zb. nauk. prats / In-t mekh. tvarynnytstva NAAN. – Zaporizhzhya, 2012. – Vyp. 1 (9). – S. 86-92. – ISSN 2075-1591.

7. Pavlenko S.I. Doslidzhennya protsesa valyannya hruboi ovechoï zovni u povst / S.I. Pavlenko, V.V. Likhodid, V.V. Ivlyev, YE.O. Rensevich, V.M. Zabudchenko // Mekhanizatsiya, ekolohizatsiya ta konvertatsiya biosirovini v tvarinnitstvi: zb. nauk. prats / In-t mekh. tvarynnytstva NAAN. – Zaporizhzhya, 2011. - Vyp. 1 (7). – S. 197-205. – ISSN 2075-1591.

8. Dzhonson K. Mekhanika kontaktnoi vzayemodii / K. Dzhonson – M. : Svit, 1989. – 508 s.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РИФЛЕЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЛИТНО-ВАЛЯЛЬНОЙ МАШИНЫ

Аннотация. *Разработана математическая модель взаимодействия рабочей поверхности плитно-валяльно машины с влажной шерстью. Установлено, что использование рабочей поверхности с рифлями по сравнению с плоской поверхностью приводит к увеличению площади действия напряженности, которая возникает в шерсти во время нагрузки. Определены геометрические параметры рифлей рабочей поверхности плитно-валяльно машины.*

Ключевые слова: *шерсть, плитно-валяльная машина, рабочая поверхность, рифли, напряженность, деформация.*

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE WORKING SURFACE RIFFLES PLATE-FULLING MACHINE

Annotation. *A mathematical model of the interaction of the working surface of plate-fulling machine with wet wool. Found that use of a working surface as compared with riffles flat surface area leads to increased tension action that occurs in wool during loading. The geometric parameters of the working surface riffles plate-fulling machine.*

Key words: *wool, plate-fulling machine, work surface, riffles, tension, deformation.*