

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ПРУЖНОГО ГІСТЕРЕЗИСУ ПРИ УДАРНО-МЕХАНІЧНІЙ ВЗАЄМОДІЇ ГРУБОЇ ОВЕЧОЇ ВОВНИ

В.В. Івлєв, канд. техн. наук,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет,

моб. (097)198-82-38, e-mail: vitalij-ivlev@yandex.ua,

<https://orcid.org/0000-0002-4878-4794>

Анотація. Побудова механічних моделей для імітації поведінки природних волокнистих матеріалів, таких як вовна, при ударно-механічній взаємодії вимагає поглибленого знання характеристик окремих волокон, зокрема їх морфології, розташування у переплетенні, міцності та жорсткості. Структуру грубої вовни можна адекватно описати стохастичним розподілом геометричних параметрів її волокон та вільних порожнин між ними на основі чисельного моделювання. Метою досліджень є проведення чисельного моделювання процесу ударно-механічної взаємодії грубої овечої вовни та визначення динаміки зміни її максимальної напруженості і відносної деформації. Для дослідження явища пружного гістерезису при ударно-механічній взаємодії зволоженої грубої вовни приймемо наступні припущення й спрощення: зазначений процес представляє собою задачу про контактну взаємодію абсолютно твердих тіл з пористим середовищем; сила тертя між боковими поверхнями і шаром пористого матеріалу (зволожена груба вовна) відсутня, через незначне її значення у порівнянні із діючою силою; рух рідини в пористому середовищі (зволоженій грубій вовні) підпорядковується закону Дарсі; спостереження при лабораторних дослідженнях за деформацією зволоженої грубої вовни, як волокнистого матеріалу, в процесі її навантаження і розвантаження дали змогу прийняти її реологічну модель як пружно-в'язко-пластичне тіло. Згідно фізико-механічних властивостей вовни та проведених

лабораторних досліджень її деформаційних характеристик, побудована стохастична модель структури вовни, як волокнистого матеріалу, в програмному пакеті Star CCM+. Волокна вовни представлені у вигляді дискретизованої тетрагональної сітки. За модель волокна прийнято в'язко-пластичне тіло, яке знаходиться у рідкому середовищі. В результаті досліджень проведено чисельне моделювання процесу ударно-механічної взаємодії грубої овечої вовни, в результаті встановлено динаміку зміни максимальної напруженості і відносної деформації грубої вовни. Отримана залежність максимальної напруженості грубої вовни від її відносної деформації, яка показує присутність явища пружного гістерезису.

Ключові слова: вовна, ударно-механічна взаємодія, пружний гістерезис, моделювання, деформація, стохастична модель.

Постановка проблеми. Побудова механічних моделей для імітації поведінки природних волокнистих матеріалів, таких як вовна, при ударно-механічній взаємодії вимагає поглибленого знання характеристик окремих волокон, зокрема їх морфології, розташування у переплетенні, міцності та жорсткості [1, 2, 3]. Тому є необхідними дослідження взаємодії волокнистих матеріалів на мікро-механічному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Структуру грубої вовни можна адекватно описати стохастичним розподілом геометричних параметрів її волокон та вільних порожнин між ними на основі чисельного моделювання.

Для дослідження явища пружного гістерезису при ударно-механічній взаємодії зволоженої грубої вовни приймемо наступні припущення й спрощення:

- зазначений процес представляє собою задачу про контактну взаємодію абсолютно твердих тіл з пористим середовищем;
- сила тертя між боковими поверхнями і шаром пористого матеріалу (зволожена груба вовна) відсутня, через незначне її значення в порівнянні із діючою силою [4];

– рух рідини в пористому середовищі (зволоженої грубій вовні) підпорядковується закону Дарсі [5];

– спостереження при лабораторних дослідженнях за деформацією зволоженої грубої вовни [6-9], як волокнистого матеріалу, в процесі навантаження і розвантаження дали змогу прийняти її реологічну модель як пружно-в'язко-пластичне тіло.

Мета досліджень. Провести чисельне моделювання процесу ударно-механічної взаємодії грубої овечої вовни та встановити динаміку зміни її максимальної напруженості і відносної деформації.

Виклад основного матеріалу досліджень. Згідно фізико-механічних властивостей вовни та проведених лабораторних досліджень її деформаційних характеристик [6-9], побудована стохастична модель структури вовни, як волокнистого матеріалу, в програмному пакеті Star CCM+. Волокна вовни представлені у вигляді дискретизованої тетрагональної сітки (рис. 1). За модель волокна прийнято в'язко-пластичне тіло, яке знаходиться у рідкому середовищі. На верхню поверхню шару вовни діє змінний тиск P :

$$P(x, h(t)) = \frac{F}{a \cdot l} = \begin{cases} G/(a \cdot l), & 0 \leq t \leq t_1, \\ (G + 0,5F_m(1 + \cos\omega t))/(a \cdot l), & t_1 < t < t_2, \\ 0, & t_2 \leq t \leq t_3, \end{cases} \quad (1)$$

де x – координата, м; $t = (0; t_1)$ – проміжок часу еластичної деформації після навантаження робочої плити із вібродвигуном, с; $t = (t_1; t_2)$ – проміжок часу деформації під дією примусової сили вібродвигуна, с; $t = (t_2; t_3)$ – проміжок часу еластичної деформації після розвантаження, с; F_m – амплітуда коливань вібродвигуна за силою F , Н; G – сила тяжіння верхньої рухомої плити, Н; ω – частота коливань вібродвигуна, Гц; a, l – геометричні розміри пласта вовни, м; $h(t)$ – висота пласта вовни, м.

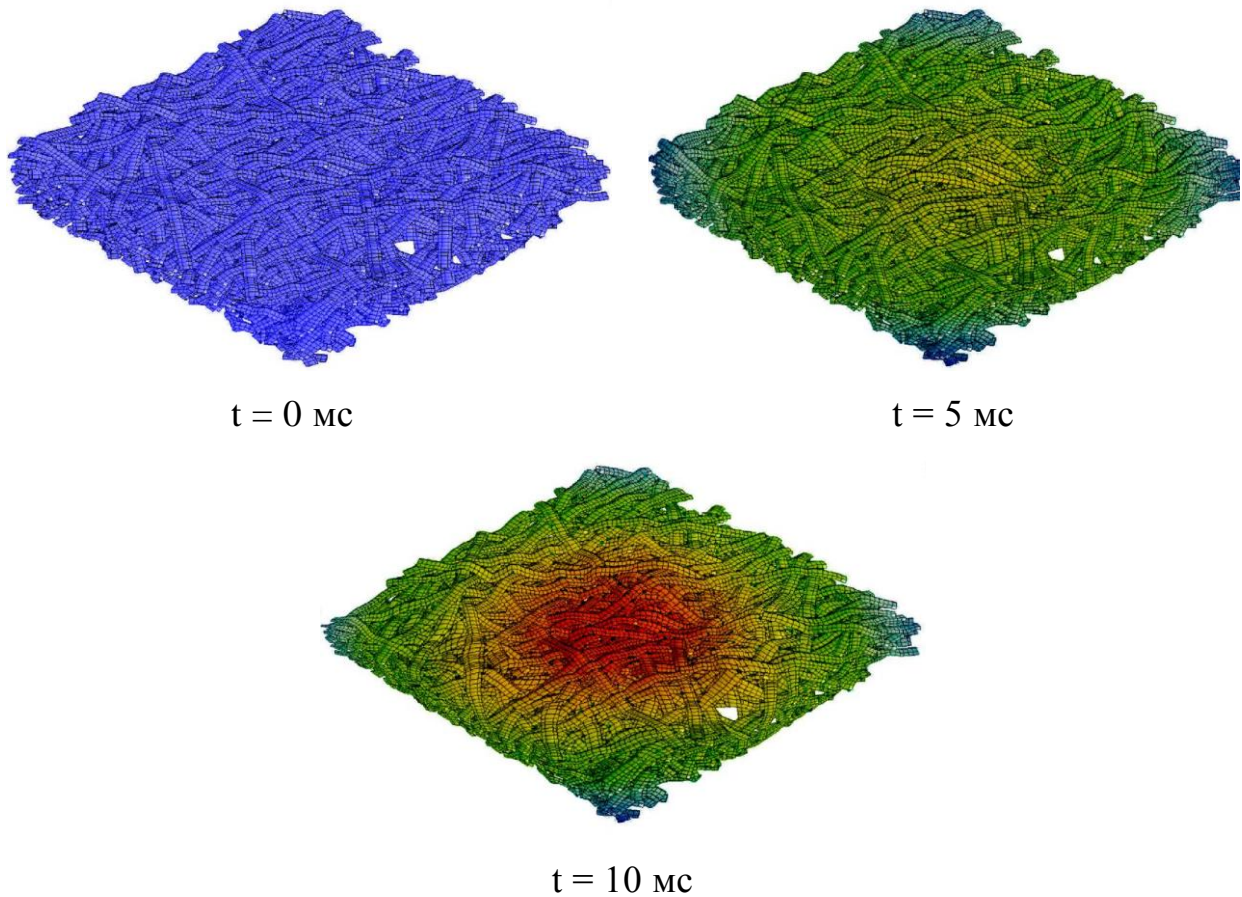


Рисунок 1 – Графічна інтерпретація процесу деформації грубої вовни

В результаті чисельного моделювання отримана графічна інтерпретація динаміки процесу деформації вовни, як волокнистого матеріалу (рис. 1).

Сутність динаміки процесу деформації грубої вовни відображають графіки зміни максимальної напруженості (рис. 2, а) і абсолютної деформації (рис. 2, б) з часом.

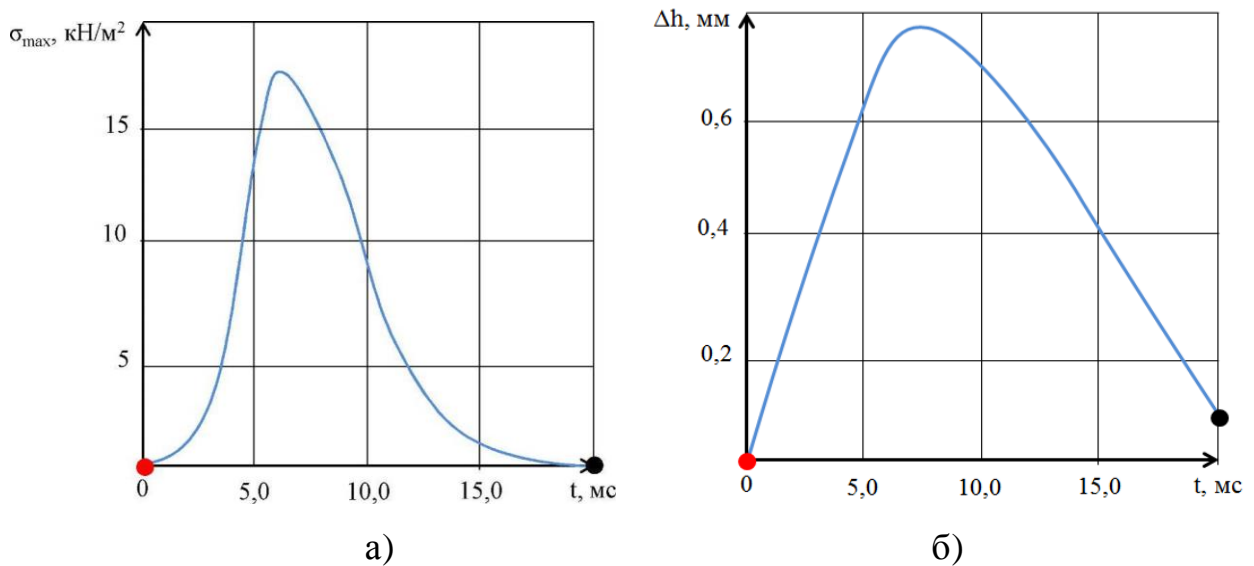


Рисунок 2 – Динаміка зміни максимальної напруженості в шарі вовни (а)
і її абсолютної деформації (б)

Об'єднуючи графіки на рисунках 2, а та 2, б отримуємо залежність максимальної напруженості грубої вовни від її відносної деформації (рисунок 3), яка показує присутність явища пружного гістерезису. Це пояснюється анізотропією механічних характеристик вовни, як волокнистого матеріалу.

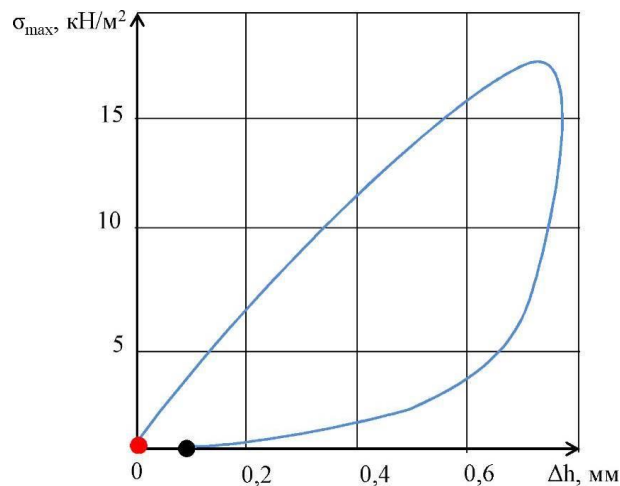


Рисунок 3 – Залежність максимальної напруженості грубої вовни від її відносної деформації

Висновки. Проведено чисельне моделювання процесу ударно-механічної взаємодії грубої овечої вовни, в результаті встановлено динаміку зміни максимальної напруженості і відносної деформації грубої вовни. Отримана залежність максимальної напруженості грубої вовни від її відносної деформації, яка показує присутність явища пружного гістерезису.

Список літератури

1. Lavrykov S., Lindström S.B., Singh K.M., Ramarao B.V. 3D network simulations of paper structure. Paper physics. Nordic Pulp and Paper Research Journal. 2012. Vol 27 no. 2. P. 256–263.
2. Schreiber J., Matheas J., Haller P. Holztechnologie Zur Verteilung der Dichte an Fichtenpressholz. Tomografie und Simulation. 2010. 4. P. 8–13.

3. Martin Sherburn. Geometric and Mechanical Modelling of Textiles: Ph.D. thesis. The University of Nottingham, 2007. 271 p.
4. Stulov A. Dynamic behavior and mechanical features of wool felt. Acta Mechanica. Austria, 2004. 169. P. 13–21.
5. Anne Klaas van der Vegt. A study on the mechanism of wool felting: Ph.D. thesis. School of Physical, Environmental and Mathematical Sciences, The University of New South Wales, Australian Defence Force Academy, 2007. 207 p.
6. Алієв Е.Б., Лиходід В.В., Забудченко В.М., Івлєв В.В. Результати дослідження процесу валяння грубої овечої вовни в повстяний пласт. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2014. Вип. 44. С. 25–31.
7. Алієв Е.Б. Динаміка деформації розтягування руна грубої овечої вовни. Вісник Степу. Науковий збірник. «Стан та перспективи розвитку агропромислового виробництва України». Вип. 12. Кіровоград, КОД, 2015. С. 169–71. ISBN 978-617-653-010-7.
8. Алієв Е.Б., Лиходід В.В., Забудченко В.М., Івлєв В.В. Дослідження динаміки деформації зволоженої грубої овечої вовни при ущільненні. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2015. Вип. 28. С. 132–138. ISSN 2409-9392.
9. Алієв Е.Б., Лиходід В.В., Івлєв В.В. Чисельне моделювання процесу деформації шару грубої овечої вовни при ударно-механічному ущільненні. Науковий вісник Таврійського державного агро-технологічного університету. – Вип. 5. т. 2. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. С. 188–194.

References

1. Lavrykov S., Lindström S.B., Singh K.M., Ramarao B.V. 3D network simulations of paper structure. Paper physics. Nordic Pulp and Paper Research Journal. 2012. Vol 27 no. 2. P. 256–263.

2. Schreiber J., Matheas J., Haller P. Holztechnologie Zur Verteilung der Dichte an Fichtenpressholz. Tomografie und Simulation. 2010. 4. P. 8–13.
3. Martin Sherburn. Geometric and Mechanical Modelling of Textiles: Ph.D. thesis. The University of Nottingham, 2007. 271 p.
4. Stulov A. Dynamic behavior and mechanical features of wool felt. Acta Mechanica. Austria, 2004. 169. P. 13–21.
5. Anne Klaas van der Vegt. A study on the mechanism of wool felting: Ph.D. thesis. School of Physical, Environmental and Mathematical Sciences, The University of New South Wales, Australian Defence Force Academy, 2007. 207 p.
6. Aliev E.B., Lyhodid V.V., Zabudchenko V.M., Ivljjev V.V. Rezul'taty doslidzhennja procesu valjannja gruboi' ovechoi' vovny v povstjanyj plast. Konstrujuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kogospodars'kyh mashyn: Kirovograds'kyj nacional'nyj tehnicnyj universytet. Kirovograd, 2014. Vyp. 44. S. 25–31.
7. Aliev E.B. Dynamika deformacii' roztjaguvannja runa gruboi' ovechoi' vovny. Visnyk Stepu. Naukovyj zbirnyk. «Stan ta perspektyvy rozvytku agropromyslovogo vyrobnyctva Ukrai'ny». Vyp. 12. Kirovograd, KOD, 2015. S. 169–71. ISBN 978-617-653-010-7.
8. Aliev E.B., Lyhodid V.V., Zabudchenko V.M., Ivljjev V.V. Doslidzhennja dynamiky deformacii' zvolozhenoi' gruboi' ovechoi' vovny pry ushhil'neni. Tehnika v sil's'kogospodars'komu vyrobnyctvi, galuzeve mashynobuduvannja, avtomatyzacija: Kirovograds'kyj nacional'nyj tehnicnyj universytet. Kirovograd, 2015. Vyp. 28. S. 132–138. ISSN 2409-9392.
9. Aliev E.B., Lyhodid V.V., Ivljjev V.V. Chysel'ne modeljuvannja procesu deformacii' sharu gruboi' ovechoi' vovny pry udarno-mehanichnomu ushhil'neni. Naukovyj visnyk Tavrijs'kogo derzhavnogo agro-tehnologichnogo universytetu. – Vyp. 5. t. 2. Melitopol': T DATU, 2015. S. 188–194.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ УПРУГОГО ГИСТЕРЕЗИСА ПРИ УДАРНО-МЕХАНИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГРУБОЙ ОВЕЧЬЕЙ ШЕРСТИ

В.В. Ивлев, канд. техн. наук,

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет,

моб. (097)198-82-38, e-mail: vitalij-ivlev@yandex.ua,

<https://orcid.org/0000-0002-4878-4794>

Аннотация. Построение механических моделей для имитации поведения естественных волокнистых материалов, таких как шерсть, при ударно-механическом взаимодействии требует глубоких знаний характеристик отдельных волокон, в частности их морфологии, расположения в переплетении, прочности и жесткости. Структуру грубой шерсти возможно адекватно описать стохастическим распределением геометрических параметров ее волокон и свободных полостей между ними на основе численного моделирования. Целью исследований является проведение численного моделирования процесса ударно-механического взаимодействия грубой овечьей шерсти и определения динамики изменения ее максимальной напряженности и относительной деформации. Для исследования явления упругого гистерезиса при ударно-механическом взаимодействии увлажненной грубой шерсти примем следующие предположения и упрощения: отмеченный процесс представляет собой задачу о контактном взаимодействии абсолютно твердых тел с пористой средой; сила трения между боковыми поверхностями и слоем пористого материала (увлажненная грубая шерсть) отсутствует, из-за незначительного ее значения в сравнении с действующей силой; движение жидкости в пористой среде (увлажненной грубой шерсти) подчиняется закону Дарси; наблюдение при лабораторных исследованиях за деформацией увлажненной грубой шерсти, как волокнистого материала, в процессе ее нагружения и разгружения дали возможность принять ее реологическую модель как упруго-вязко-пластичное тело. Согласно физико-механических свойств шерсти и проведенных

лабораторных исследований ее деформационных характеристик, построена стохастическая модель структуры шерсти, как волокнистого материала, в программном пакете Star CCM+. Волокна шерсти представлены в виде дискретизированной тетрагональной сетки. Моделью волокна принято вязко-пластичное тело, которое находится в жидкой среде. В результате исследований проведено численное моделирование процесса ударно-механического взаимодействия грубой овечьей шерсти, в результате установлено динамику изменения максимальной напряженности и относительной деформации грубой шерсти. Получена зависимость максимальной напряженности грубой шерсти от ее относительной деформации, которая показывает присутствие явления упругого гистерезиса.

Ключевые слова: шерсть, ударно-механическое взаимодействие, упругий гистерезис, моделирование, деформация, стохастическая модель.

RESEARCH OF THE PHENOMENON OF ELASTIC HYSTERESIS AT TO SHOCK MECHANICAL INTERACTION OF ROUGH SHEEP WOOL

V. Ivlev, Candidate of Engineering Sciences (Ph. D.),

Dnipro state agrarian and economic university,

(097)198-82-38, e-mail: vitalij-ivlev@yandex.ua,

<https://orcid.org/0000-0002-4878-4794>

Summary. Construction of mechanical models for the imitation of conduct of natural fibred materials, such as wool, at to shock-mechanical requires co-operation deep knowledge of descriptions of separate fibres, in particular their morphologies, location in interlacing, durability and inflexibility. The structure of rough wool can be adequately described the stochastic distributing of geometrical parameters of its fibres and free cavities between them on the basis of numeral design. The purpose of researches is a leadthrough of numeral design of process shock-mechanical co-

operations of rough sheep wool and determinations of dynamics of change of its maximal tension and relative deformation. For research of the phenomenon of elastic hysteresis at shock-mechanical will accept co-operations of water-wet rough wool the followings suppositions and simplifications: the noted process is a task about the contact co-operating of absolutely solids with a porous environment; force of friction absents between sides and layer of porous material (rough wool a water-wet), through its insignificant value in comparing to operating force; motion of liquid in a porous environment (to water-wet rough wool) submits the law of Darcy; a supervision is at laboratory researches after deformation of water-wet rough wool, as fibred material, in the process of its loading and unloading enabled to accept its reologic model as resiliently-viscidly plastic body. According to physical and mechanical properties of wool and conducted laboratory researches its deformation descriptions, the stochastic model of structure of wool is built, as fibred material, in the programmatic package of Star CCM+. The fibres of wool are presented as sampled tetragonal grid. For the model of fibre it is accepted viscidly plastic body which is in a liquid environment. As a result of researches the numeral design of process is conducted shock-mechanical co-operations of rough sheep wool, the dynamics of change of maximal tension is as a result set relative deformation of rough wool. Got dependence of maximal tension of rough wool from its relative deformation, which shows the presence of the phenomenon of elastic hysteresis.

Key words: wool, shock-mechanical interaction, elastic hysteresis, modeling, deformation, stochastic model.