

УДК 678.08

**М.Скиба, канд.техн.наук; Ю.Михайловський, канд.техн.наук;
Г.Головко**

Технологічний університет Поділля

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ТА ПОСЛАБЛЕННЯ СТРУКТУРИ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ У ВАЛКОВОМУ МЕХАНІЗМІ З ПРОФІЛЕМ ТРИКУТНИКА РЬОЛО

Розглянуто особливості моделювання процесу подрібнення та послаблення структури композиційного матеріалу у валковому механізмі з профілями трикутника Рьоло. Моделювання проводилося з використанням методики часово-крокового нелінійного динамічного аналізу методом скінченних елементів. Наведені рекомендації для моделювання та визначення основних факторів, що впливають на основні конструктивні та технологічні параметри валкового механізму з профілями трикутника Рьоло.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями

В даній роботі розглянуто процес подрібнення та послаблення композиційного матеріалу валками, що мають профіль рівностороннього трикутника з випуклими гранями (ПК профіль). Ще такий трикутник має назву трикутника Рьоло, що є найбільш відомою і вживаною в технічній літературі назвою. Перевагами такого профілю валків є збільшена робоча площа поверхні, а також можливість руйнування та послаблення структури матеріалу за рахунок створення складнонапруженого стану внаслідок дії стискаючих та зсувних деформацій.

Використання складнопрофільних валків пов'язано з тим, що валкові механізми для подрібнення або послаблення структури матеріалу повинні мати зазор між валками. В гладких валках зазор є фіксованим. Крім того, його величина залежить від зусилля, що діє на валок. Це погіршує вихід матеріалу з заданими параметрами. Валки ПК профілю мають змінний зазор та шість точок положень повного контакту. Також кут захвату матеріалу для ПК профілю набагато більший, ніж у валкових механізмів, за рахунок кінематики механізму, що забезпечується формою профілю валка.

Валкові механізми в основному забезпечують деформаційні напруження і тільки у випадку, коли валки обертаються з різними швидкостями або мають різні діаметри. При цьому спостерігаються деформації зсуву. У випадку використання валків з ПК подібним профілем виникає два види деформацій: стискаючі і зсувні, що забезпечується за рахунок різних швидкостей точок профілю. В процесі обертання валків співвідношення вказаних деформацій змінне. Такий процес проходження матеріалу через валки забезпечує краще у порівнянні з іншими механізмами руйнування та послаблення структури композиційних матеріалів [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

У розглянутих роботах даного напрямку досліджень було використано саме ПК-профілі подрібнюючих тіл і доведено їх переваги [3,4,5]. Крім того, валкові механізми подібного профілю знайшли застосування і в пристроях для змішування різноманітних сумішей. В усіх цих роботах приділяли увагу тільки деяким аспектам, що впливають на процес подрібнення. Це пов'язано з тим, що валки мають досить складний профіль, який виконує обертовий рух навколо осі. Такий рух валків з ПК профілем призводить до постійної зміни складно-напруженого стану матеріалу в зоні подрібнення. Тому актуальним було б розглянути питання моделювання процесу подрібнення з використанням сучасних методів.

Формулювання цілей статті(постановка завдання)

Метою даної роботи є розробка моделі та моделювання процесу подрібнення та послаблення структури матеріалу валками зі складним профілем Рьоло, а також визначення основних факторів, які впливають на процес подрібнення. З метою подальшого проектування обладнання такого типу необхідно врахувати при моделюванні можливість визначення факторів, що впливають на основні конструктивні та технологічні параметри механізму.

Виклад основного матеріалу досліджень

Так як профіль Рьоло має дуже складну форму, яка сама є досить вагомим фактором, що впливає на процес подрібнення, необхідно описати такий профіль математичною залежністю.

Цю математичну залежність можна описати трьома дугами, центральні точки яких розташовані на прямих, що проходять через центральну точку ПК профілю (рис.1). Кут між прямими складає 120° . Відстань від центральної точки ПК профілю до центрів дуг є однаковою, і ця величина визначає максимальну величину зазору. Виходячи з цього, такий профіль можна описати наступним рівнянням:

$$R^2 = E^2 + R_i^2 + 2ER_i \cos(120j + \alpha), \tag{1}$$

де: $j = 0,1,2$ - індекс грані ПК профілю;

E - ексцентриситет дуги відносно центру обертання ПК профілю;

R - радіус дуги;

R_i - відстань від осі обертання ПК профілю до точки на поверхні профілю;

α - кут утворюючої.

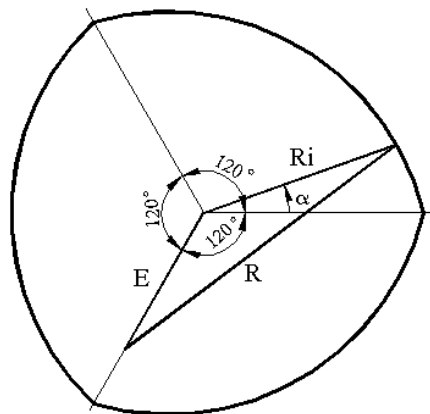


Рис. 1. Схема побудови профілю Рьоло

З рівняння (1) визначаємо залежність відстані R_i від кута α :

$$R_i(\alpha) = E \cos(120j + \alpha) \pm \sqrt{R^2 + E^2 (\cos(120j + \alpha)^2 - 1)}. \tag{2}$$

Для валкової пари в декартових координат вираз (2) з врахуванням напрямку руху та міжосьової відстані буде мати вигляд:

$$\begin{cases} X_1(\alpha) = \left(E \cos(120j + \alpha) \pm \sqrt{R^2 + E^2 (\cos(120j + \alpha)^2 - 1)} \right) \cos(\alpha + \varphi) \\ Y_1(\alpha) = \left(E \cos(120j + \alpha) \pm \sqrt{R^2 + E^2 (\cos(120j + \alpha)^2 - 1)} \right) \sin(\alpha + \varphi) \\ X_2(\alpha) = \left(E \cos(120j + \alpha) \pm \sqrt{R^2 + E^2 (\cos(120j + \alpha)^2 - 1)} \right) \cos(\alpha - \varphi) + OO \\ Y_2(\alpha) = \left(E \cos(120j + \alpha) \pm \sqrt{R^2 + E^2 (\cos(120j + \alpha)^2 - 1)} \right) \sin(\alpha - \varphi), \end{cases} \tag{3}$$

де X_1, Y_1, X_2, Y_2 - це координати точок поверхні профілю першого і другого валків;

φ - кут повороту ПК профілю;

OO - міжосьова відстань.

Отримана залежність (3) дозволяє описувати валкову пару ПК профілю з врахуванням кута повороту валків та міжосьової віддалі. Використовуючи цю залежність, можна описати складно-напружений стан в робочій зоні за допомогою диференціальних рівнянь стискання та зсуву [6], враховуючи умови нерозривності деформацій [7]. Також при вирішенні цієї задачі необхідно враховувати параметри тертя та властивості композиційного матеріалу, складові якого мають властивості нелінійного пружного матеріалу.

Повне врахування всіх факторів, що впливають на процес подрібнення та послаблення структури матеріалу валками зі складним профілем Рьоло, досить складне. Тому для такого випадку доцільніше використовувати не аналітичний розв'язок, а чисельний метод розрахунку, в основі якого лежить заміна розрахункової моделі з безперервним розподілом параметрів і нескінченним числом ступенів свободи дискретною моделлю, що має кінцеве число невідомих. Кількість невідомих в чисельних методах може бути дуже велика і залежить від вимог, що ставляться до розрахунків та можливостей COM [8].

Для вирішення поставленої проблеми використано прямий метод скінченних елементів [9,10], що реалізовано в програмному комплексі Impact (рис.2) (<http://impact.sourceforge.net/> чи <http://www.tup.km.ua:8083/impact/>).

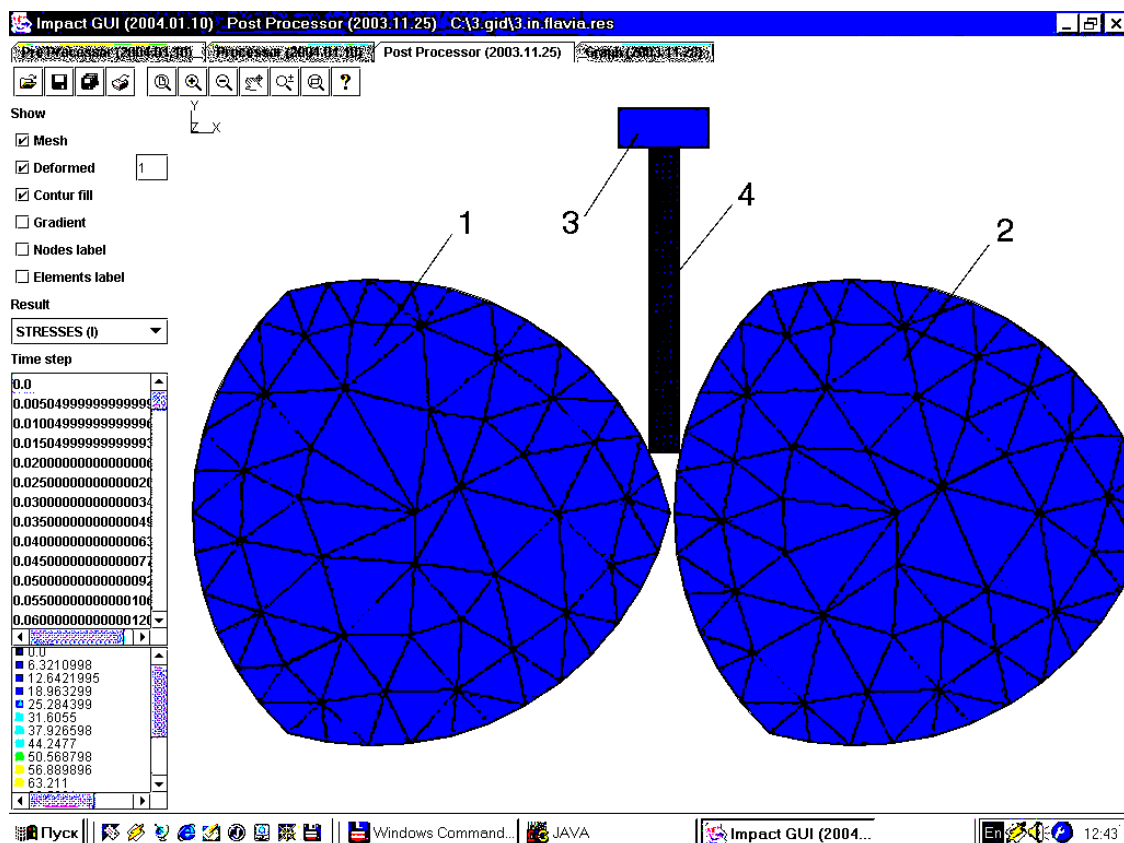


Рис. 2. Програмний комплекс Impact. Пост процесор – візуалізація результатів розрахунку.
1,2 - профілі Рьоло; 3 – штовхач; 4- композиційний матеріал.

В програмному комплексі реалізовано наступний алгоритм.

1. Установка початкового стану задачі.
2. Формування матриці мас.
3. Обрахування внутрішніх зусиль.
4. Корекція значень переміщень за залежністю:

$$\frac{1}{\Delta t^2} \{M\} \{D\}_{n+1} = \{F\}_n^{ext} - \{K\} \{D\}_n + \frac{1}{\Delta t^2} \{M\} \left[\{D\}_n + \Delta t \dot{D}_{n-\frac{1}{2}} \right], \quad (4)$$

де: Δt - величина кроку у часі;

M - маса;

D - переміщення;

F - зовнішні сили;

K - жорсткість;

n – номер кроку.

5. Коректування швидкостей відповідно залежності:

$$\Delta t \left\{ \dot{D} \right\}_{n+\frac{1}{2}} = \{D\}_{n+1} - \{D\}_n \quad (5)$$

6. Виконання граничних умов.

7. Зберігання результатів розрахунку поточного кроку.

8. Зміна кроку розрахунку, в разі незавершення розрахунку поставленої задачі, повернення до третього етапу.

Такий алгоритм дозволяє вирішувати ряд динамічних задач: руйнування; контактування; операції формування.

При розробці моделі процесу подрібнення та послаблення композиційного матеріалу були враховані фактори, що впливають на основні конструктивні та технологічні параметри механізму (рис. 3). Отримана модель дозволяє досліджувати вплив наступних факторів:

- вплив геометричних співвідношень форми валків та міжосьової відстані;
- швидкість обертання валків та подачі матеріалу в зону подрібнення;
- властивості композиційного матеріалу та матеріалу валків;
- параметри тертя;
- використання пружних опор валків.

Моделювання процесу подрібнення проводили на композиційному матеріалі, що є гумом з вмістом металокорду усередині. На першому етапі процесу подрібнення для забезпечення кращого захоплення валками подрібнюваного матеріалу необхідно забезпечити примусову подачу матеріалу. Це допомогло зменшити час на моделювання процесу, так як під дією просто сили тяжіння матеріал не одразу захоплюється валками, що призводило до збільшення часу на моделювання такого процесу руйнування матеріалу.

Моделювання процесу подрібнення з врахуванням подачі займало 4 години (розрахунки велися на комп'ютері з процесором Athlon XP 1700), в той час як при відсутності подачі тривалість процесу збільшувалась вдвічі. подача забезпечувалась штовхачем 3 (рис. 2). Також використання штовхача дозволило в процесі моделювання визначити необхідне зусилля подачі матеріалу в зону подрібнення (рис. 4).

При моделюванні взаємодії валків з матеріалом один валок був жорстко закріплений з можливістю обертання навколо осі, а інший - був виконаний з додатковим пружним елементом з можливістю зміни міжосьової відстані. Обертаючись, він міг рухатись лише по координаті X. Таке виконання валків дозволило визначити реакції в опорах валків (рис. 4). Жорсткість пружного елемента задається в процесі моделювання. Значення жорсткості впливає на величину зміни зазору між валками, що, у свою чергу, впливає на процес руйнування структури матеріалу. Також в даній моделі враховували вплив швидкостей робочих органів на процес подрібнення. В результаті моделювання даного процесу, задавшись необхідною продуктивністю, можна визначити конструктивні параметри технологічного обладнання.

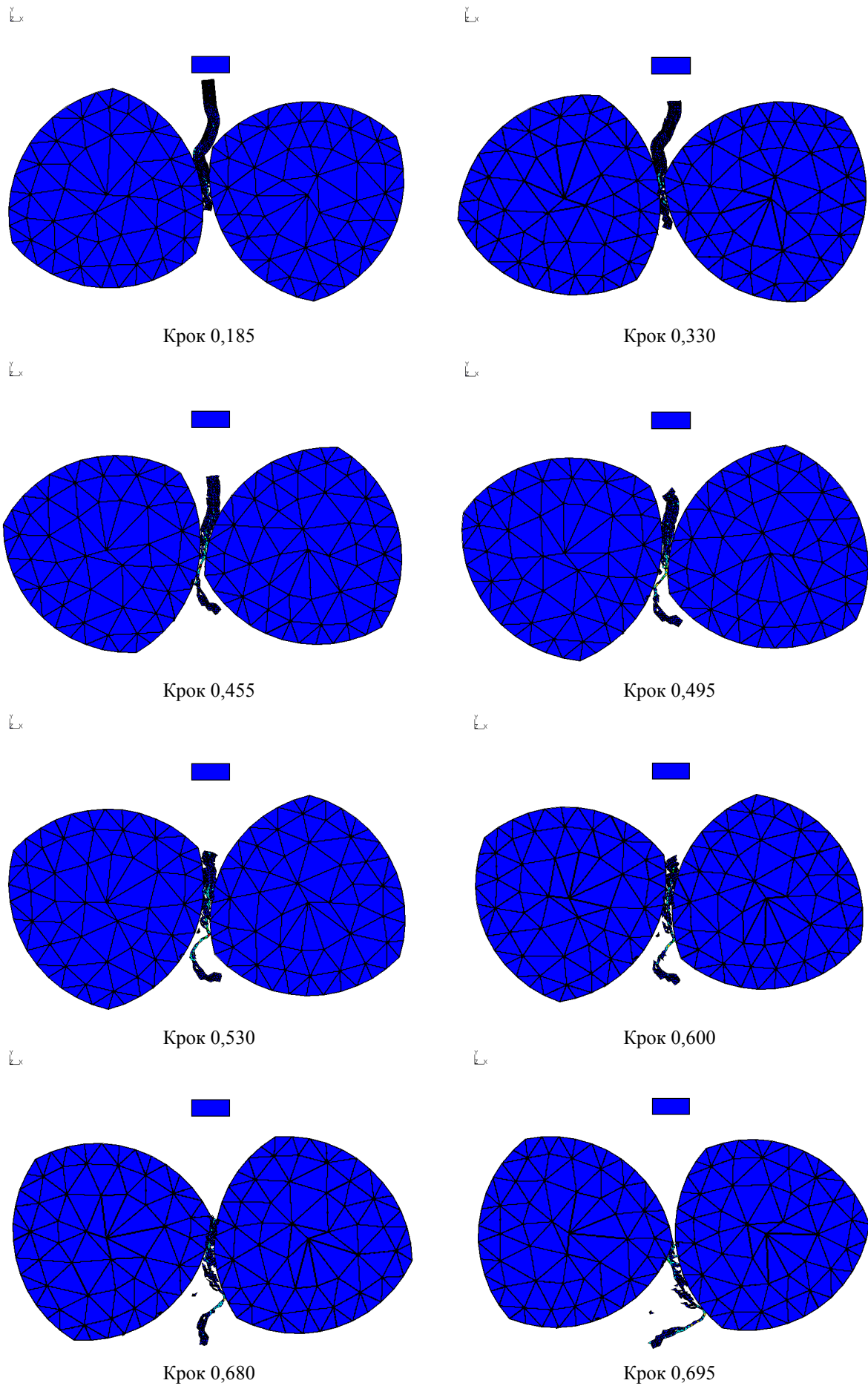


Рис. 3. Покрокова візуалізація результатів розрахунку

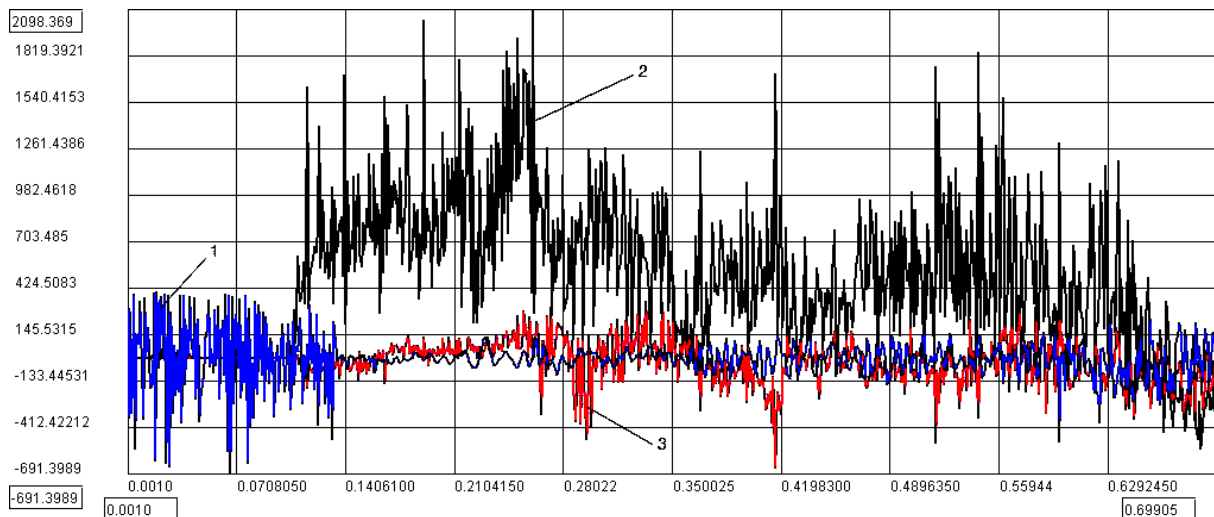


Рис. 4. Залежність зусиль від кроку розрахунку:

1 – зусилля подачі матеріалу в зону подрібнення; 2, 3 – реакція в опорі ПК профілю в напрямках X та Y.

Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку

Розроблена методика моделювання дозволяє визначати оптимальні геометричні параметри валкового механізму для подрібнення та послаблення структури матеріалу. Така методика дозволяє розраховувати форму профілю в залежності від того, який напружений стан треба забезпечити для руйнування однієї складової композиційного матеріалу, що дозволяє конструювати технологічне обладнання для переробки різних типів матеріалів. Перспективним є використання даної методики моделювання при конструюванні обладнання для повторної переробки автомобільних покришок, коли необхідно відділити металокорд від гуми, а також для кращого розволокнення натуральної шкіри для послаблення зв'язків між волокнами. У даному напрямку будуть проводитись подальші дослідження.

Habits of modelling of process of powdering and easing of structure of a composite material in mechanism with profiles of triangle Relo are surveyed. Modelling was carried out with use of a technique of the temporarily time-step nonlinear dynamic analysis by a method of final elements. Recommendations for modelling and definitions of major factors which influence the basic constructive and technological parameters валкового the mechanism with profiles of triangle Relo are instanced.

Література

1. Скиба М.Є. Структурно- механічна модель та метод визначення раціональних параметрів розволокнення шкіряних матеріалів // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2002. -№4. – Ч.1. –С.192-199.
2. Скиба М.Є. Визначення ефективних параметрів послаблення волокнистої структури шкіри при розтягу // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2002. -№6. – Ч.1. –С.263-273.
3. Авторское свидетельство СССР №1115812, кл. В 07 В 1/22, 30.09.1984. Бюл. №36.
4. Авторское свидетельство СССР №880466, кл. В 02 С 4/28, 25.11.1981. Бюл. №42.
5. Авторское свидетельство СССР №884715, кл. В 02 С 7/10, 30.11.1981. Бюл. №44.
6. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. –М.: Высш. шк., 1968. – 343 с.
7. Подильчук Ю.Н. Пространственные задачи теории упругости и пластичности. –Киев.: НАУКОВА ДУМКА, 1984. – 304 с.
8. Скиба М.Є., Михайловський Ю.Б., Головка Г.С. Моделювання процесу подрібнення композиційних матеріалів з використанням методу скінчених елементів. // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. -№ 6.
9. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures - Ted Belytschko, Wing Kam Liu, Brian Moran. 1989.
10. Explicit Algorithms For The Nonlinear Dynamics Of Shells - Ted Belytchko, Jerry I. Lin, Chen-Shyh Tsay, 1984.

Одержано 12.01.2004 р.