

slow, have an advantage in comparison with analogues. Power of these machines must be in the range of 2 to 5 kW and performance to provide feeding for livestock 2-3 head of cattle.

Key words: farms, feed, strawchopper, cutting.

УДК 631.363

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ КЛИНОПОДІБНОМУ КАНАЛІ

Д.О. Мілько, канд. техн. наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

У статті представлено математичну модель визначення зусиль, що виникають у процесі ущільнення рослинної сировини в горизонтальному клиноподібному каналі. Результати наведені для визначення параметрів операції попереднього ущільнення з метою отримання вихідних умов наступної операції – структування часток рослинної сировини.

Ключові слова: ущільнення, рослинна сировина, напруження, деформації, модель.

Постановка проблеми. Дослідженнями впливу конструктивних та режимних параметрів ущільнювачів на показники якості та енергоємності їх роботи вчені займалися давно. В цьому напрямку працювали такі науковці, як І.І. Вольф, А.А. Чапкевич, М.А. Пустигін, А.А. Тулинов, С.А. Алфьоров, В.Д. Дутов, Є.І. Храпач, А.А. Григор'єв, М.А. Перегожін та ін. Вони досліджували вплив різноманітних технологічних факторів на якість ущільнення стеблових матеріалів. Однак сутності процесу стиснення досягти так і не вдалося [1]. Причому практично всі дослідники дійшли висновку, що основним показником, який характеризує якість пресування кормів, є щільність отриманих тюків, брикетів, гранул тощо. Звісно, що щільність матеріалів, які пресуються, буде збільшуватися при підвищенні тиску на нього. В світлі цього, В.І. Особовим було виведено наступну функціональну залежність:

© Д.О. Мілько.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 98. 2013.

$$\frac{dp}{d\rho} = f(p), \quad (1)$$

де p – зусилля, що діє на матеріал; ρ – щільність матеріалу.

Після розв'язання цього рівняння, завдяки інтегруванню лівої та правої частини, було отримано залежність тиску від щільності в такому вигляді

$$p = C(e - 1)\rho = \rho_0 + \frac{1}{\alpha}, \quad (2)$$

де $C = \frac{b}{a}$.

Величина $1/\alpha$ являє собою приращення початкової щільності матеріалу при тиску, що дорівнює $C(e - 1)$.

Численні досліди, які були проведені, дозволили визначити значення коефіцієнтів C та α для багатьох видів кормових культур, таких як степове, злакове та бобове сіно, сінне борошно та солома.

Однак дослідженню підлягали матеріали із незначною вологістю. а саме: люцерна (16%), конюшина (16%), сіно степове (16%), тимофіївка (9,35%), солома (10,34%), сінне борошно (14,7%) [1].

В світлі сучасних тенденцій заготівлі та зберігання кормової сировини, зокрема зберігання сінажу та силосу у полімерних рукавах, ущільненню підлягають і матеріали з більшою вологістю. Для напіввологих та вологих матеріалів застосування принципів, що наведені вище, підлягають додатковій теоретичній та експериментальній перевірці.

Мета дослідження. Беручи до уваги той факт, що дослідження пресування рослинної сировини підвищеної вологості носить достатньо специфічний характер, що, в першу чергу, пов'язано із необхідністю збереження початкової вологості в межах 65 - 75%, необхідно створення такої математичної моделі, яка б дала можливість врахувати зусилля, що виникають у частинках рослинної сировини. Це дозволить керувати процесом ущільнення та вивільнення вологи, яка міститься у рослинній сировині та забезпечує процес силосування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для зменшення впливу повітря на рослинну сировину підчас процесу закладання на зберігання, ми пропонуємо розділити процес пресування на дві операції – підготовчу та основну, за якою вже безпосередньо відбувається закладання рослинної сировини до сховищ. До підготовчої операції ми

віднесемо попереднє пресування до рівня досягнення «передкритичного стану», тобто такого стану, при якому рослинна сировина ще не досягає своєї остаточної щільності, але залишків повітря в загальній масі в декілька разів менше. Однак для уникнення процесів релаксації, які спостерігаються в ущільненій масі, ми вводимо основну операцію – структуризацію частинок рослинної сировини. Ця операція дозволяє уникнути засмокування повітря, яке відбувається під час процесів релаксації, переорієнтувати частинки рослинної сировини, що, в свою чергу, зменшить у них напруження, та уникнути негативних наслідків релаксаційних процесів.

Однак тематика даної статті стосується лише підготовчої фази пресування, теоретичні аспекти якої і будуть висвітлені надалі.

Для опису підготовчої фази пресування наведемо схему пресування сировини в клиноподібному каналі (рис. 1)

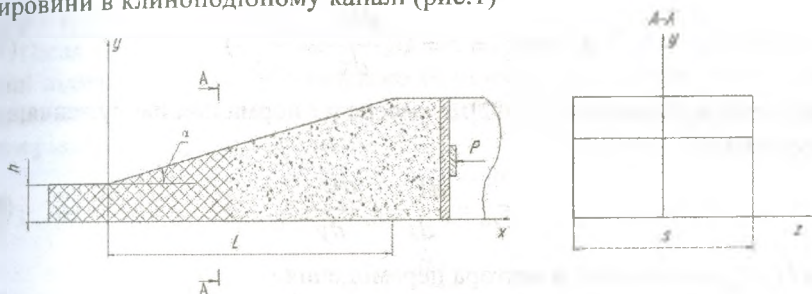


Рис. 1. Схема підготовчої фази пресування

Розглянемо, які виникають напруження в клиноподібному каналі під час дії на рослинну сировину поршня в горизонтальній площині. Для цього нам необхідно зробити деякі припущення, а саме: висота шару, який ущільнюється, менша за довжину каналу, зміни щільності за висотою не відбувається, переміщення ущільнювального матеріалу відбувається лише у площині xu . Тоді, врахувавши припущення в зоні пресування, ми отримаємо рівняння рівноваги елементарного об'єму [2, 3, 4]:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} + \frac{d\tau_{xy}}{dy} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d\tau_{yx}}{dx} + \frac{d\sigma_y}{dy} = 0 \quad (4)$$

де σ_x, σ_y – нормальні напруження, що виникають у частках ущільнювального матеріалу; $\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau$ – дотичні напруження, що виникають у частках ущільнювального матеріалу.

При активному навантаженні сипких матеріалів тиском, реологічні рівняння, які вказують на взаємозв'язок між компонентами тензору напружень та тензору деформацій, будуть виглядати наступним чином [5]:

$$\sigma_{xx} = \sigma + 2G\left(\frac{dU_x}{dx} - \frac{\varepsilon_v}{3}\right), \quad (5)$$

$$\sigma_{yy} = \sigma + 2G\left(\frac{dU_y}{dy} - \frac{\varepsilon_v}{3}\right), \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau = G\left(\frac{dU_y}{dx} + \frac{dU_x}{dy}\right), \quad (7)$$

де G – змінний модуль зсуву [2]; $\sigma_{сер}$ – середнє нормальне напруження; ε_v – відносна зміна об'єму.

$$\varepsilon_v = \frac{dU_x}{dx} + \frac{dU_y}{dy}, \quad (8)$$

де U_x, U_y – компоненти вектора переміщення.

Беручи до уваги сумісне розв'язання рівнянь (3-7), при застосуванні їх для процесу ущільнення сипкої рослинної сировини в тонкому шарі при $h/L > 1$ (дивись рис.1), при dU_x/dx значно більших за dU_y/dx , при dU_x/dy значно більших за dU_x/dx , коли dp/dy буде дорівнювати нулю, рівняння набуде наступного вигляду:

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_{сер}}{dx} + \frac{d\tau}{dy} = 0; \\ \frac{d\sigma_{сер}}{dy} = 0, \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{де } \tau = G \frac{dU_x}{dy}.$$

Для вирішення задачі клинового ущільнення слід звернутися до деяких граничних умов, а саме представимо, що у верхній (похилій) частині рослинна сировина буде ковзати згідно із законом так званого

сухого тертя, а нижня частина буде мати з нею адгезивне зчеплення. Тоді ми зможемо записати граничні умови на контактних поверхнях у наступному вигляді:

$$\text{при } y = h \quad \tau_{nx} = -f_1 \sigma_{nn}, \quad (10)$$

$$\text{при } y = 0 \quad \tau_{yx} = -\left[k(\sigma_{сеп}) + f_1 \sigma_{yy} \right], \quad (11)$$

де τ_{nx} , σ_{nn} – контактні дотичні та нормальні напруження в похилій частині клиноподібного каналу; f_T – коефіцієнт зовнішнього тертя ковзання; $k(\sigma_{сеп})$ – параметр адгезивного зчеплення [2]; f_1 – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Коефіцієнт внутрішнього тертя визначається наступним чином:

$$f_1 = \text{tg} \varphi, \quad (12)$$

де φ – кут внутрішнього тертя.

Після розгляду основних зусиль, які виникають у рослинній сировині підчас ущільнення, перейдемо безпосередньо до тих зусиль, що виникають у площині xu , а саме, перепишемо рівняння (6) з урахуванням рівняння об'ємного стиснення [2]:

$$\sigma_y = (1 - \lambda) \sigma_{сеп} + 2G \varepsilon_y, \quad (13)$$

де λ – відношення модулів об'ємного зсуву та стиснення [2],

$$\lambda = \frac{2G}{3E_{cm}}, \quad (14)$$

де $\sigma_{сеп}$ – середнє нормальне напруження,

$$\sigma_{сеп} = \sigma_0 \left\{ \frac{2n(f - f_T)}{\theta c(1 + c) \text{tg} \alpha} \left[\left(\frac{h + L \text{tg} \alpha}{h + x \text{tg} \alpha} \right)^c - 1 - \frac{L - x}{h + L \text{tg} \alpha} \right] \right\}^{\frac{1}{n}} \quad (15)$$

де σ_0 – початкове напруження в сировині, що визвано атмосферним тиском, $\sigma_0 = 0,1 \text{ МПа}$; θ , n – безрозмірні коефіцієнти, що характеризують властивості сировини та являють собою функції модулів об'ємного зсуву та стиснення [2]; L – довжина ущільнювальної частини; h – висота вихідного отвору; α – кут нахилу ущільнювальної частини.

Беручи до уваги усі напруження та зусилля, що виникають в ущільнювальній сировині, тиск на ущільнюючу пластину для успішного проходження процесу повинен перевищувати сумарну дію контактних питомих тисків за площиною та результуючу силу тертя в нижній та верхній частинах, а саме:

$$P_{заг.} > F_{рез.} + F_m, \quad (16)$$

де $F_{рез.}$ – результуюча сила тертя у верхній частині клину з урахуванням сумарної дії контактних питомих зусиль; F_m – сила тертя, що виникає у нижній частині клину.

Результуюча сила тертя у верхній частині клиноподібного каналу з урахуванням сумарної дії контактних питомих зусиль запишеться наступним чином:

$$F_{рез.} = S \cos^2 \alpha \int_0^L f_T \sigma_y, \quad (17)$$

де S – ширина клинового каналу.

Підставивши значення $F_{рез.}$ та σ_y до виразу (16), і зробивши деякі перетворення, отримуємо:

$$P_{заг.} > \frac{S f_T \cos^2 \alpha \int_0^L \left[(1 - \lambda) \sigma_{сер} + 2 \frac{\sigma_{сер}}{\theta} \left(\frac{\sigma_{сер}}{\sigma_0} \right)^{-n} \frac{(L - x) \operatorname{tg} \alpha}{h + L \operatorname{tg} \alpha} \right] dx}{(1 - \sin \alpha)}. \quad (18)$$

Висновок. Отримана модель дає можливість визначити необхідне зусилля при попередньому ущільненні рослинної сировини, яке є однією зі складових при визначенні загальних зусиль процесу ущільнення рослинної сировини із фінальною структуризацією частинок рослинної сировини. Цей метод ущільнення дозволить уникнути проблем, пов'язаних із релаксацією рослинної сировини після процесу ущільнення.

БІБЛОГРАФІЯ

1. *Особов В.И.* Механическая технология кормов. / В.И. Особов. – М.: Колос, 2009. – 344 с.
2. *Генералов М.Б.* Механика твердых дисперсных пород в процессах химической технологии. / М.Б. Генералов. – Калуга.: Издательство Н. Бочкаревой, 2002. – 592 с.
3. *Кокорин В.Н.* Теория и практика процесса прессования гетерофазных увлажненных механических смесей на основе железа / В.Н. Кокорин, А.И. Рудской, В.И. Филимонов, Е.М. Булыжев, С.Ю. Кондратьев. – Ульяновск.: УлГТУ, 2012. – 236 с.
4. *Жданович Г.М.* Теория прессования металлических порошков. / Г.М. Жданович. – М.: Металлургия, 1969. – 264 с.
5. *Генералов М.Б.* Реологические свойства твердых дисперсных систем.

ТЕМ. // Теоретические основы химической технологии. 2001. – Т.35.
– №1. – С. 85-89.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КЛИНОВИДНОМ КАНАЛЕ

В статье представлена математическая модель определения усилий, возникающих в процессе уплотнения растительного сырья в горизонтальном клиновидном канале. Результаты приведены для определения параметров операции предварительного уплотнения с целью получения исходных данных последующей операции – структурирования частиц растительного сырья.

Ключевые слова: уплотнение, растительное сырье, напряжения, деформации, модель.

PARAMETERS SUBSTANTIATION OF PLANT MATERIAL PRESSING IN A HORIZONTAL WEDGE-SHAPED CHANNEL.

The paper presents mathematical model for determining forces that occur during pressing plant material in a horizontal wedge-shaped channel. Results are presented for determining parameters of the pre-pressing operations the purpose of obtaining baseline data subsequent transaction-structuring particles of plant material.

Key words: pressing, plant material, stress, deformation, model.