

УДК 631. 363

Д.О. Мілько, доц., канд. техн. наук*Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, (Україна),
milko_dmitry@mail.ru*

Методика оцінки фізико-механічних властивостей рослинної сировини

Представлено методику визначення основних фізико-механічних показників рослинної сировини, а саме модулю зсуву досліджуваного матеріалу, моменту інерції перетину пучка стебел та модулю пружності першого роду. Отримані залежності дозволять одержати дані, необхідні для перевірки на адекватність теоретичних передумов щодо визначення зусиль, потрібних на ущільнення рослинної сировини.

рослинна сировина, модуль зсуву, момент інерції, модуль пружності, властивості рослинної сировини, переміщення під навантаженням

Д.А. Милько, доц., канд. техн. наук*Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь (Украина)***Методика оценки физико-механических свойств растительного сырья**

Представлена методика определения основных физико-механических показателей растительного сырья, а именно модуля сдвига исследуемого материала, момента инерции сечения пучка стеблей и модуля упругости первого рода. Полученные зависимости позволят получить данные, необходимые для проверки на адекватность теоретических предпосылок относительно определения усилий, необходимых для уплотнения растительного сырья.

растительное сырье, модуль сдвига, момент инерции, модуль упругости, свойства растительного сырья, перемещение под нагрузкой

Актуальність. Фізико-механічні властивості різноманітних матеріалів підлягали аналізу з давніх часів. Ще Максвелл запропонував розглядати матеріали як сукупність двох середовищ – пружної, що підпорядковується закону Гука, та в'язкої, яка описується законом Ньютона у 1868 році. Про пружні та в'язкі властивості сільськогосподарських матеріалів говорив і Желіговський В.А. [1].

На наш погляд, насамперед це пов'язано із зацікавленістю людей у збереженні поживних речовин рослин на протязі холодної пори року. В свою чергу якісно збережена рослинна сировина є джерелом поживних речовин для тварин, які і продукують необхідні для людей продукти харчування.

Дослідженнями процесів ущільнення займалися такі видатні вчені як В.П. Горячкин, Е.М. Гутьяр, пізніше І.А. Долгов, В.І. Особов, Ю.Ф. Новіков, В.Ф. Некрашевич та ін. Однак величезна кількість напрацювань стосується безпосередньо прямого впливу тиску на рослинну сировину.

Попередні дослідження зміни опору стебловій частині рослин [2] вказують на поступове зменшення опору стебел із часом при прикладенні навантажень. Саме цей факт слід використовувати при закладанні рослинної сировини на зберігання.

Однак для визначення та опису цих властивостей (модулю зсуву, моменту інерції перетину пучка стеблин та модулю пружності) при вигині та скручуванні не вистачає даних. Саме тому вважається за доцільне створення методики визначення вище приведених властивостей для підтвердження гіпотези про зменшення пружного ефекту при ущільненні рослинної сировини методом скручування.

© Д.О. Мілько, 2015

Постановка завдання. Метою дослідження є створення методики оцінки фізико-механічних властивостей рослинної сировини, яка забезпечить необхідну точність теоретичних розрахунків щодо визначення енергетичних втрат в процесі ущільнення методом скручування.

Поставлена мета реалізується шляхом математичного моделювання та розрахунку показників пружності та пластичності стеблових матеріалів.

Методика дослідження. При скручуванні стержня круглого перетину моментом сил $M_{кр}$, прикладених до його кінців, виникає деформація у вигляді повороту його перетинів на кут φ відносно нерухомо закріпленого кінця (основи).

Для перетину, який знаходиться на відстані x від основи, цей кут знаходиться із залежності [3]

$$d\varphi = \frac{M_{кр}}{GJ_x} dx, \quad (1)$$

де G – модуль пружності зсуву (модуль другого роду);

J_{px} – полярний момент інерції перетину стержня на відстані x від основи, що дорівнює $J_{px} = \frac{\pi D_x^4}{32}$;

D_x – діаметр перетину стрижня на відстані x від основи.

Представляючи, що стрижнем є стебло рослини, яке має конічну форму зі зменшенням діаметру за довжиною, зміну діаметра перетину від довжини x представимо виразом

$$D_{c_x} = D_c - \frac{D_c - d_c}{l_c} x, \quad (2)$$

де D_c, d_c – відповідно діаметр основи і кінця стрижня;

l_c – довжина стрижня.

Підставивши формулу (2) в (1) і проінтегруємо отриманий вираз

$$\varphi = \frac{32M_{кр}}{\pi G} \int_0^l \frac{dx}{[D_c - (D_c - d_c)x/l_c]^4}. \quad (3)$$

Звідки

$$\varphi = \frac{32M_{кр}}{3\pi G} \cdot \frac{l}{D_c - d_c} \left(\frac{1}{d_c^3} - \frac{1}{D_c^3} \right). \quad (4)$$

За цим виразом знаходимо величину модулю зсуву досліджуваного матеріалу стебла

$$G = \frac{32M_{кр}}{3\pi\varphi} \cdot \frac{l}{D_c - d_c} \cdot \left(\frac{1}{d_c^3} - \frac{1}{D_c^3} \right). \quad (5)$$

Для визначенні осьового моменту інерції стебел рослин, зв'язаних в пучок (сніп) (рис. 1), розглянемо крок розміщення стебел по радіусу снопа і його колу

$$h = \sqrt{3}r_c \quad \text{і} \quad d = 2r_c, \quad (6)$$

де r_c – радіус стебла.

Таким чином, у кільці з середнім радіусом ρ і шириною dx знаходиться кількість стебел

$$dx = \frac{\pi\rho}{\sqrt{3}r_c^2} d\rho. \quad (7)$$

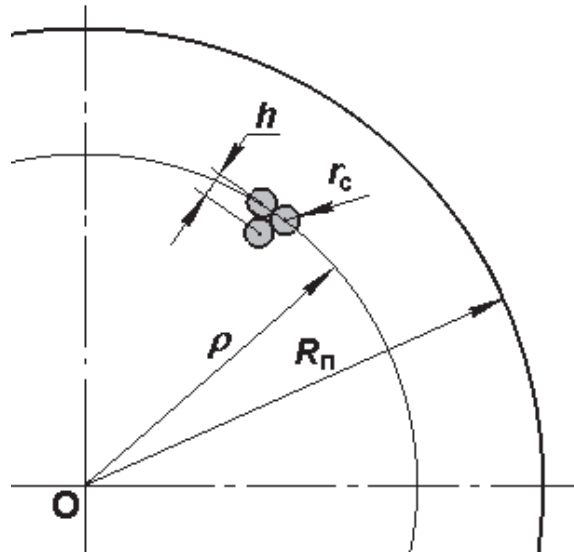


Рисунок 1 – Розташування стебел в пучку

Отже, осьовий момент інерції стебел, розташованих у цьому кільці, становить

$$dJ = \frac{\pi\rho}{\sqrt{3}r_c^2} \cdot \pi r_c^2 \cdot \rho^2 d\rho + \frac{\pi\rho}{\sqrt{3}r_c^2} \cdot \frac{\pi r_c^4}{2} d\rho = \frac{\pi^2}{\sqrt{3}} \left(\rho^3 + \rho \cdot \frac{r_c^2}{2} \right) d\rho. \quad (8)$$

У результаті інтегрування отримуємо момент інерції J_n перетину пучка, який буде дорівнювати

$$J_n = \frac{\pi^2 R_n^2}{4\sqrt{3}} (R_n^2 + r_c^2). \quad (9)$$

Беручи до уваги, що $R_n = \sqrt{3}r_c^2 z$, де R_n – радіус пучка, z – кількість стеблин, отримаємо

$$J_n = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \pi^2 z^2 \cdot (3z^2 + 1) \cdot r_c^4. \quad (10)$$

Для знаходження величини модуля зсуву досліджуваного з використанням усього снопа використаємо залежності (5).

Для цього з виразу (10) знайдемо приведений діаметр снопа у нерухомо закріпленого кінця (основи), який становить

$$D_n = \sqrt[4]{\frac{\sqrt{3}}{2} \pi z^2 (3z^2 + 1) \cdot D_c}. \quad (11)$$

У кінці стрижня приведений діаметр снопа дорівнює

$$d_n = D_n \cdot \frac{d_c}{D_c}. \quad (12)$$

Звідси величина модуля зсуву матеріалу стебел, зв'язаних в пучок (сніп), визначається з виразу

$$G = \frac{16M_{кр}}{3\sqrt{3}\pi^2 z^2 \varphi(3z^2 + 1)} \cdot \frac{l}{D_n - d_n} \cdot \left(\frac{1}{d_n^3} - \frac{1}{D_n^3} \right). \quad (13)$$

де D_n, d_n – відповідно діаметр нерухомої основи і кінця пучка стебел.

На кінцях стебел діаметр пучка дорівнює

$$d_n = D_n \cdot \frac{d}{D}. \quad (14)$$

Запропонуємо більш простий спосіб визначення осевого моменту інерції J_n стебел рослин, зв'язаних в пучок (сніп).

При цьому виходимо зі зниження поверхневої щільності пучка через нещільне взаємного прилягання стебел у ньому. Таким чином, осевий момент інерції J_n стебел рослин, зв'язаних в пучок, становитиме

$$J_n = J_{n0} \cdot \frac{\sum S_c}{S_{n0}}, \quad (15)$$

де J_{n0}, S_{n0} – відповідно момент інерції і площа перетину пучка поточного перетину;

$\sum S_c$ – сумарна площа перетину стебел.

Приймаючи стільникове взаємне розташування стебел в пучку (рис. 2) для взаємно прилеглих трьох стебел вираз (15) можна представити у вигляді

$$J_n = J_{n0} \cdot \frac{\pi r_c^2 / 2}{\sqrt{3} r_c^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} J_{n0}, \quad (16)$$

За цієї умови для знаходження величини модуля зсуву досліджуваного матеріалу з використанням пучка стебел (снопа) застосовуємо формулу (5), яка набуде вигляду

$$G = \frac{64M_{кр}}{\sqrt{3}\pi^2 \varphi} \cdot \frac{l}{D_n - d_n} \cdot \left(\frac{1}{d_n^3} - \frac{1}{D_n^3} \right). \quad (17)$$

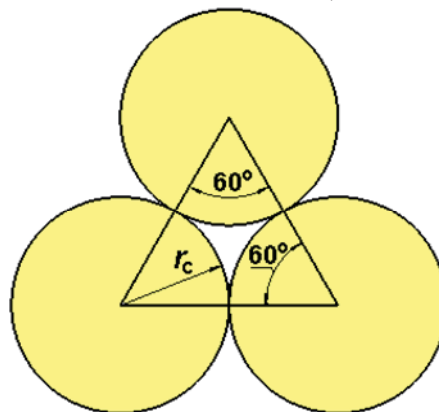


Рисунок 2 – Розташування стебел в пучку

Таким чином, при визначенні величини модуля зсуву матеріалу як для одного стебла, так і в складі пучка стебел слід визначити D і d – середні діаметри D основи і d кінця стрижня, довжину l стержня, відповідно для пучка стебел (снопа) D_n і d_n – діаметр нерухомої основи і кінця пучка та його довжину l , момент сил $M_{кр}$, прикладених до його кінця, та кут φ повороту перетину кінця стрижня відносно нерухомо закріпленого кінця.

Незважаючи на однотипність виразів формул (5) і (17), результати різняться хоч би виходячи з того, що при деформації пучка стебел завжди наявним буде їх взаємне радіальне переміщення, яке супроводжується тертям. При цьому для стебел у пучку вже не буде відбуватися так званого чистого зсуву, а відбуватимуться як зсув, так і згинання. Особливо цей факт буде помітний із віддаленням стебел від центральної вісі пучка. Саме цим і можна пояснити менші значення модулю зсуву для пучка стебел.

Теоретичні основи визначення модуля згину.

Під дією зовнішніх сил, що викликають прямий вигин стебла, його спочатку пряма вісь викривляється, перетворюючись на криву лінію, яка називається вигнутою віссю або пружною лінією.

Лінійне переміщення центру поперечного перерізу перпендикулярно до вісі недеформованого стебла називається прогином (y) перерізу, максимальне значення якого називається стрілою f прогину. При цьому поперечний переріз залишається плоским і нормальним до вигнутої вісі стебла. Воно повертається навколо нейтральної вісі на кут θ , який називається кутом повороту перерізу.

Центри маси поперечних перерізів при деформації стебла лінійно переміщуються, як перпендикулярно, так і паралельно до його вісі x , а кут нахилу до вісі стебла, дотичній до вигнутої осі у будь-якій точці, дорівнює куту повороту θ поперечного перерізу, що проходить через цю точку.

Таким чином, рівняння зігнутої вісі пружного стебла під дією згинаючого моменту $M(x)$ має вигляд [3]

$$\frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^3}} = \frac{M(x)}{EJ}, \quad (18)$$

де E – модуль пружності першого роду;

J – осьовий момент інерції для круглого перетину, що дорівнює половині осьового моменту інерції.

Так як у нашому випадку при дослідженнях використовуємо консольне закріплення як стебла, так і пучка, згинаючий момент $M(x)$ визначається залежністю

$$M(x) = P \cdot l, \quad (19)$$

де P – зусилля згину.

Практично при відношенні величини прогину до довжини балки менше ніж 0,05 у рівнянні (18) нехтують квадратом першої твірної у чисельнику, яка досить мала порівняно з одиницею. Тоді це рівняння набуває наближеного вигляду, який використовується у більшості випадків.

У нашому випадку стебла рослин (при вологості закладається сінажу біля 55 %) досить гнучкі, тому слід використовувати рівняння (18) у його повній формі.

Таким чином, отримаємо

$$E = \frac{P \cdot l}{J} \cdot \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^3}}. \quad (20)$$

При визначенні модуля пружності першого роду E з використанням одного стебла у вираз (20) підставляємо значення осевого моменту інерції, яке дорівнює

$$J = \frac{\pi}{64} \left(D_c - \frac{D_c - d_c}{l_c} x \right)^4, \quad (21)$$

при визначенні модуля пружності першого роду E з використанням пучка стебел

$$J = \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot \pi^2 z^2 \cdot (3z^2 + 1) \cdot r_c^4 \quad \text{чи} \quad J = J_{n_0} \cdot \frac{\pi}{4\sqrt{3}} J_{n_0}. \quad (22)$$

Для розв'язання диференційного рівняння (20) необхідно його двічі проінтегрувати [4, 5] та після підстановки значень виразів (21) та (22) і математичних перетворень отримаємо вирази відповідно для визначення модулю пружності одного стебла

$$E = \frac{P \cdot l^3}{3y \left(\frac{\pi}{64} \left(D_c - \frac{D_c - d_c}{l_c} x \right)^4 \right)}, \quad (23)$$

та для пучка стебел

$$E = \frac{P \cdot l^3}{3y \left(\frac{\sqrt{3}}{8} \pi^2 z^2 (3z^2 + 1) r_c^4 \right)}. \quad (24)$$

Висновки. В результаті проведеної роботи отримано методику визначення основних фізико-механічних властивостей рослинної сировини. Крім запропонованої методики представлено теоретичне обґрунтування визначення модулів зсуву та пружності як для одного стебла, так і для пучка стебел. Завдяки визначенню цих модулів стає можливим розрахунок напружень, що виникають в процесі ущільнення рослинної сировини.

Список літератури

1. Желиговский В. А. Экспериментальная теория почвообрабатывающих машин и механической технологии сельхозматериалов. / В. А. Желиговский. – Тбилиси: ГСХИ, 1960. – 146 с.
2. Мілько Д. О. Напрямки вдосконалення технологій заготівлі об'ємних кормів на принципах збереження поживних речовин під час виконання технологічного процесу / Д.О. Мілько // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенко – Харків. – Вип. 132, 2013.
3. Биргер И. А. Сопротивление материалов: учебное пособие / И. А. Биргер, Р. Р. Малютков. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 560 с.
4. Иванов В. Н. Вариационные принципы и методы решения задач теории упругости: Учеб. пособие. / В. Н. Иванов. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 176 с.
5. Папкович П. Ф. Теория упругости / П. Ф. Папкович. – К.: Оборонгиз, 1939. – 641 с.

Dmitry Milko

Tavria State Agrotechnological University

Methods of Plant Material Physical and Mechanical Properties Assessing

Purpose of research is creating methodologies of evaluating physical and mechanical properties of plant material to provide the required accuracy of theoretical calculations for determining the energy loss in the sealing process by twisting.

The target is realizing by means of mathematical modeling for determining the shear modulus and modulus of elasticity.

The theoretical calculations assess the quantitative of stresses occurring during compaction plant material

plant material, shear modulus, moment of inertia, elastic modulus, plant material properties, moving under stress

Одержано 10.04.15

УДК 631. 3.83

Р. В. Мельник, пров. наук, співроб., канд. техн. наук

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», смт. Глеваха, roma_meln@mail.ru

Ефективність роботи мобільних електрифікованих засобів сільськогосподарського призначення

В статті приведенні результати попередніх досліджень експериментального зразка електротрактора ХТЗ-2511Е а також встановлено, що на сьогоднішній день набувають широкого розповсюдження електродвигуни вентильного типу для електротранспорту через високий ККД до 95% та можливість програмування контролера на різну напругу та різні режими роботи.

мотор-колеса, мобільно енергетичні засоби, трактор, електродвигун, тягова характеристика, електроаккумуляторний привод

Р. В. Мельник, ведущий науч. сотр., канд. техн. наук

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Эффективность работы мобильных электрифицированных средств сельскохозяйственного назначения

В статье приведены результаты предыдущих исследований экспериментального образца електротрактора ХТЗ-2511 а также установлено, что на сегодняшний день получают широкое распространение электродвигатели вентильного типа для електротранспорта из-за высокого КПД до 95% и возможностью программирования контроллера на различное напряжение и различные режимы работы.

мотор-колеса, мобільно енергетические средства, трактор, электродвигатель, тяговая характеристика, электроаккумуляторный привод

Постановка проблеми. Активізація світових глобалізаційних процесів співпала з глибокими соціально-економічними реформами в Україні, що призвело до сировинної переорієнтації нашої економіки та кризової залежності від економік більш успішних країн.

Однією з характерних особливостей виробництва сільськогосподарської продукції в Україні є суттєва залежність від імпортованих енергоносіїв:

© Р. В. Мельник, 2015