

Методы исследований физико-механических свойств растительного сырья

Дмитрий Милько

Research methods of plant material physical and mechanical properties. On the basis of analytical and laboratory researches of plant material physical and mechanical properties relations for the calculation of resiliency and bend modules on the example of haulage as for one stem so for the bunch of stems were obtained. Surfaces of review, which forecast the change of these indexes from made effort and diameter of stem and their bunch were built. The module of viscosity was also determined for the bunch of stems on the example of alfalfa.

Key words: modulus of elasticity, flexural modulus, viscous modulus, plant materials, haylage, alfalfa, physical and mechanical properties.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На фоне современных тенденций сохранения энергии, которая в свою очередь становится одним из существующих путей уменьшения себестоимости производства продукции, в том числе и животноводческой, стоит уделять внимание источникам получения энергии и ее целесообразного потребления. Под целесообразным потреблением следует понимать количество энергии, которое непосредственно тратится на необходимый процесс, причем источник энергии должен быть как можно дешевле. На современном этапе таким источником следует считать электроэнергию, это связано с тем, что ее получение возможно многими способами. Однако применение электрической энергии не является последним шагом в снижении себестоимости полученной продукции. Детальное исследование процессов приготовления, заготовки и хранения растительного сырья (кормов) позволит выявить необходимые точки приложения усилий для получения наивысшего качества растительного сырья (кормов). Известно, что кормовая база является самым ценным объектом для исследований на предмет снижения себестоимости продукции животноводства. Принимая во внимание приведенные выше факты, следует построить технологическую цепь с обратной стороны, а именно создание средств механизации технологических процессов должно происходить после определения физико-механических свойств растительного сырья и векторов приложения усилий, на основе чего создаются необходимые рабочие органы, которые удовлетворяют потребности технологического процесса, а на базе разработанных рабочих органов создаются технологические линии с целесообразным использованием энергии.

При этом анализу физико-механических свойств растительного сырья уделяется недостаточно внимания на начальном этапе. Очень много исследований сырья уже проведено, но они проводились или после ее закладки или после уплотнения и т.п. Потому появляется проблема определения свойств растительного сырья перед началом их переработки, заготовки, приготовления и так далее.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Физико-механические свойства разнообразных материалов подлежали анализу с древних времен. Еще Максвелл предложил рассматривать материалы как совокупность двух сред - упругой, которая подчиняется закону Гука, и вязкой, которая описывается законом Ньютона (1868 г.). Об упругих и вязких свойствах сельскохозяйственных материалов говорил и Желиговский В. А. [1].

Исследованиями процессов уплотнения занимались такие выдающиеся ученые, как В. П. Горячкин, Е. М. Гутьяр, позже И. А. Долгов, В. И. Особов, Ю. Ф. Новиков, В. Ф. Некрашевич, В. Ф. Кузьменко и др. Однако огромное количество

наработок касается непосредственно прямого влияния давления на растительное сырье.

Предыдущие исследования изменения сопротивления стебельчатой части растений [4] указывают на постепенное уменьшение сопротивления стеблей со временем при приложении нагрузок. Именно этот факт следует использовать при закладывании растительного сырья на хранение.

ФОРМУЛИРОВКА ЦЕЛЕЙ СТАТЬИ

Определение модулей упругости, изгиба и вязкости на примере сенажа как для одного стебля так и для пучка стеблей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

К физическим свойствам растительных материалов относят влажность, гранулометрический состав или размерные данные, плотность, объемную массу и др.

Сопротивление растительного сырья прилагаемой внешней нагрузке в зависимости от давления и скорости, релаксация напряжений, вязкость и другие свойства относят к механическим свойствам. Обычно такие свойства выражаются соответствующими коэффициентами или зависимостями [5].

Исходным материалом при проведении исследований была люцерна в фазе цветения и бутонизации.

Однако для определения и описания свойств материала (модуля сдвига, модуля вязкости, модуля упругости и др.) при изгибе и скручивании не хватает данных. Именно поэтому считается целесообразным использование методики определения приведенных выше свойств для подтверждения гипотезы об уменьшении упругого эффекта при уплотнении растительного сырья методом скручивания.

При скручивании стержня круглого сечения моментом сил $M_{кр}$, приложенным к его концам, возникает деформация в виде поворота его сечений на угол φ относительно неподвижно закрепленного конца (основания) с диаметром D_c и диаметром свободной части стебля d_c на длине l_c . По следующему выражению определим величину модуля сдвига G исследуемого материала стебля

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

Используя формулу (1) для определения модуля сдвига G для одного стебля с некоторыми преобразованиями, получим формулу для определения модуля сдвига для пучка стеблей (снопа), которая приобретает вид [3]

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

Таким образом, при определении величины модуля сдвига материала как для одного стебля, так и в составе пучка стеблей следует определить средние диаметры D основания и d конца стержня, длину l стержня, соответственно для пучка стеблей (снопа) D_n и d_n – диаметр неподвижной основы и конца пучка и его длину l , крутящий момент $M_{кр}$, приложенных к его концу, и угол φ поворота сечения конца стержня относительно неподвижно закрепленного конца.

Графическое изображение зависимости модуля сдвига G от угла поворота φ и крутящего момента $M_{кр}$ для одного стебля и пучка стеблей представлено на рис. 1.

Невзирая на однотипность формул (1) и (2), результаты отличаются хотя бы исходя из того, что при деформации пучка стеблей всегда будет иметь место их взаимное радиальное перемещение, которое сопровождается трением. При этом

для стеблей в пучке уже не будет так называемого чистого сдвига, а будут происходить как сдвиг, так и изгиб. Особенно этот факт будет замечен с отдалением стеблей от центральной оси пучка. Именно этим и можно объяснить меньшие значения модуля сдвига для пучка стеблей.

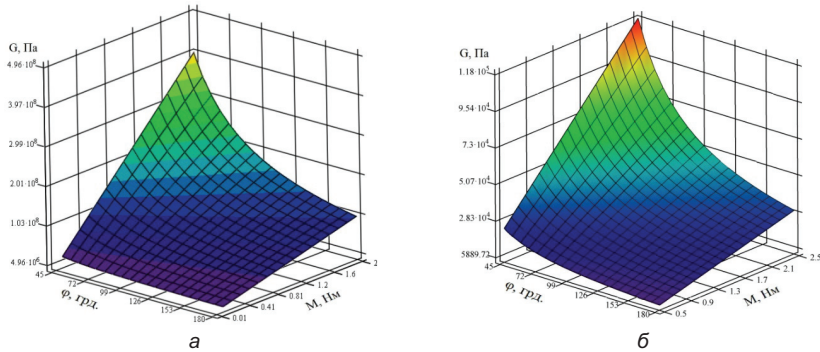


Рисунок 1 – Графическое изображение зависимости модуля сдвига G от угла поворота φ и крутящего момента $M_{кр}$ для одного стебля (а) и пучка стеблей (б)

Для определения модуля упругости первого рода E можно воспользоваться аналитическими исследованиями, которые были проведены ранее [2, 5, 6], но после некоторых преобразований получим следующие выражения для одного стебля

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

и для пучка стеблей

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

Графическое изображение зависимости модуля упругости от изменения усилия и перемещения стеблей приведено на рис. 2.

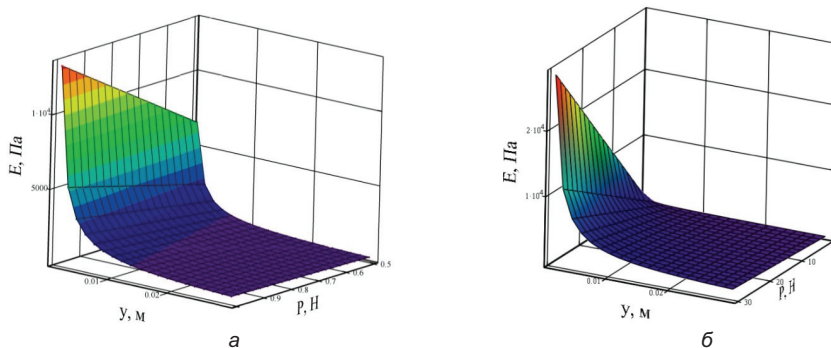


Рисунок 2 – Графическое изображение зависимости модуля упругости E от перемещения стеблей y под действием нагрузки P для одного стебля (а) и пучка из ста стеблей (б) со средним диаметром одного стебля 3,2 мм

На построенном графике можно отметить увеличение значения модуля упругости с увеличением количества стеблей, а это объясняется именно появлением межстебельчатого трения, которое происходит при смещении передних стеблей относительно стеблей, которые размещены за ними. Также стебли, которые размещены спереди, выступают в роли подпора для размещенных за ними стеблей.

Стенд для определения модуля упругости E представлен на рис.3

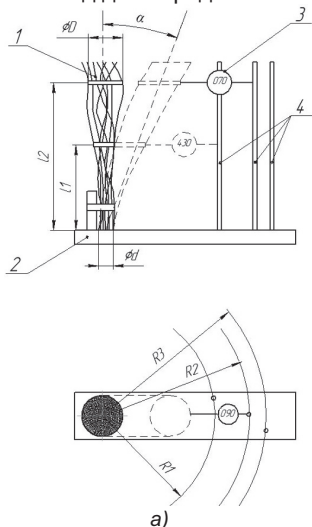


Рисунок 3 – Схема определения модуля упругости E та модуля сдвига G :
 а) схема стенда к определению свойств растительного сырья;
 б) натуральное проведение эксперимента.
 1 – пучок исследуемого материала; 2 – рама стенда;
 3 – динамометр; 4 – стержни для фиксации угла наклона.

Также для определения модуля упругости и коэффициента вязкости растительного сырья можно воспользоваться следующей методикой [3], предусматривающей измерение амплитуды затухающих колебаний образца определенной длины и диаметра на стенде (рис.4) с осциллятором и аналогово - цифровым преобразователем, который связан с персональным компьютером для выведения данных.

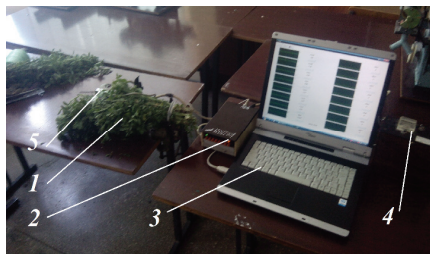
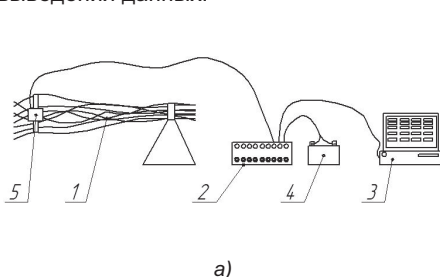


Рисунок 4 – Схема стенду для определения затухающих колебаний (а), натуральный вид стенда (б):

1 – исследуемый образец; 2 – АЦП; 3 – персональный компьютер;
 4 – блок питания АЦП; 5 – датчик-осциллятор.

После получения цифровых данных строится график (рис. 5), согласно которому берутся данные амплитуды и периода собственных колебаний.

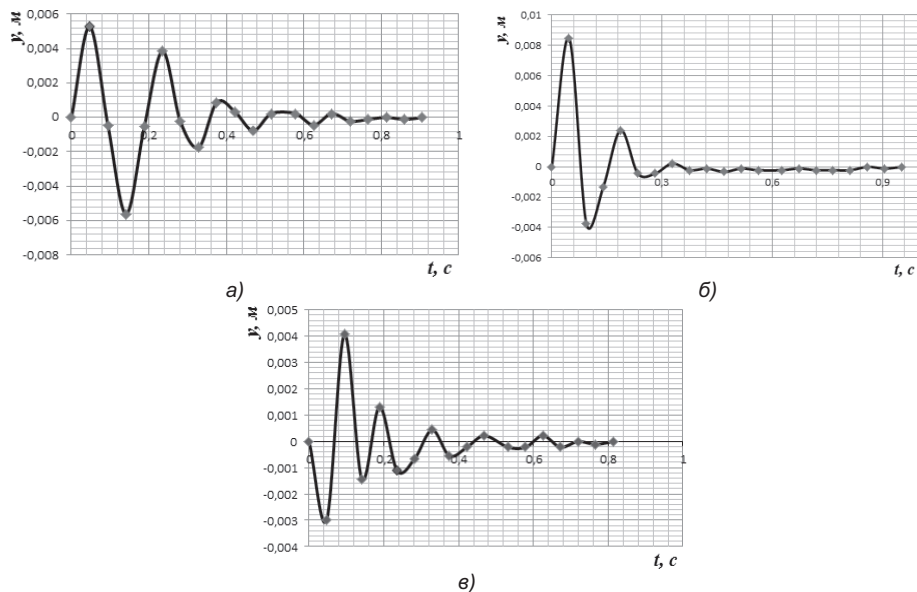


Рисунок 5 – Графическая интерпретация колебаний пучка стеблей с длиной 0,2 м, сосредоточенной массой 0,06 кг, плотностью 200,55 кг/м³, диаметрами 44 мм (а), 48 мм (б), 50 мм (в)

Дальше по формулам (5, 6) определяется модуль упругости и коэффициент вязкости.

$$E = \frac{8}{45d^4\pi\tau^2} (360l^3m\pi^2 - 90l^3m \left(\ln \left(\frac{a2}{a1} \right) \right)^2) + \sqrt{30} \times \sqrt{l^6 \left(4\pi^2 - \left(\ln \left(\frac{a2}{a1} \right) \right)^2 \right) \left(\pi^2 (1080m^2 + 13d^4gl\tau^2\rho^2) - 270m^2 \left(\ln \left(\frac{a2}{a1} \right) \right)^2 \right)} \quad (5)$$

где **d** – средний диаметр образца, м;

l – длина образца, м;

τ – период колебаний, с;

m – сосредоточенная масса, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

ρ – плотность образца, кг/м³;

$\frac{a2}{a1}$ – отношение последовательных амплитуд.

$$\mu = - \frac{8l(135Em + 52gl^4\pi\rho^2)\ln\left(\frac{a2}{a1}\right)}{135d^2E\pi\tau} \quad (6)$$

После проведения исследований и подстановки полученных значений в формулы (5, 6) мы получили следующие значения модуля упругости и

коэффициента вязкости: при диаметре пучка 44 мм $E = 7,198 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 30,586$ Па·с; при диаметре 48 мм $E = 8,235 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 32,488$ Па·с; при диаметре 50 мм $E = 9,224 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 35,716$ Па·с.

ВЫВОДЫ

В статье представлены материалы, которые позволяют разными методами определить физико-механические свойства растительного сырья. Из вышеприведенных материалов следует отметить, что представленные методы определения модуля упругости дали фактически одинаковый результат. Это свидетельствует о том, что при расчетах модуля упругости можно применять и аналитический метод, однако для определения модуля вязкости все же необходимо проведение лабораторного исследования образца материала или проведения дополнительных аналитических исследований для создания соответствующей методики.

Полученные в результате лабораторных исследований данные позволили рассчитать модули упругости первого рода и вязкости, которые составили соответственно $E = 7,198 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 30,586$ Па·с для диаметра пучка 44 мм; $E = 8,235 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 32,488$ Па·с при диаметре пучка 48 мм; $E = 9,224 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 35,716$ Па·с при диаметре пучка 50 мм.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Желиговский В.А. Экспериментальная теория почвообрабатывающих машин и механической технологии сельхозматериалов. - Тбилиси: ГСХИ, 1960, 146 с.
- [2]. Иванов В.Н. Вариационные принципы и методы решения задач теории упругости: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2004, 176 с.
- [3]. Ковбаса В.П., Коваль Я.В. Визначення механічних властивостей матеріалів шляхом дослідження коливальних зразків. // Вібрації в техніці та технологіях - Вінниця. №4 (56), 2009. С. 92-96.
- [4]. Милько Д.О. Напрямки вдосконалення технологій заготівлі об'ємних кормів на принципах збереження поживних речовин під час виконання технологічного процесу. // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенко – Харків. Вип. 132, 2013.
- [5]. Милько Д.О. Методика оцінки фізико-механічних властивостей рослинної сировини. // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація – Кіровоград. Вип. 28, 2015. С. 196 – 202.
- [6]. Папкович П.Ф. Теория упругости. – К.: Оборонгиз, 1939, 641 с

Милько Д. А., к.т.н., доцент

Таврический государственный агротехнологический университет

Украина

Тел. +380677988546

E-mail: milko_dmitry@mail.ru

Доклад рецензирован.