

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ В ВОПРОСАХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗЕРНА

О.Ю. Чигарев, канд. техн. наук (Институт технологии и природопользования, г. Фаленты, Респ. Польша); Е.М. Прищепова, аспирантка (БГАТУ)

Аннотация

Исследуется упруговязкая модель зерна пшеницы при деформировании плоскими штампами и вальцами плющилки. Приведены выражения для определения вязкости зерна, силовых характеристик напряженного состояния.

Elastoviscous model of wheat grain deformation of flat stamps and rolls conditioner is being investigated. The expressions for definition of viscosity of grain, power characteristics of stressed state are given.

Введение

Энергетическим проблемам технологии плющения зерна в последнее время уделяется большое внимание, как в нашей стране, так и за рубежом. Одной из последних научных работ в этой области была публикация по определению мощности электропривода вальцовый плющилки [1], где получены зависимости для расчета мощности плющилок при различных значениях диаметров вальцов, межвальцового зазора. Для того чтобы оценить экономические эффекты переработки зерна в процессе приготвления кормов для животноводства и птицеводства, следует определить энергоёмкость процесса его дробления. На данную операцию в приготовлении промышленных кормов затрачивается 30-70 % энергии, потребляемой на весь процесс их производства [2]. Несмотря на несложную механическую схему плющения зерна, остается немало вопросов, решение которых сможет помочь в выборе оптимальной по энергозатратам технологии. Это, прежде всего вопросы, связанные с выбором физико-механической модели зерна и изучения его напряженного и деформированного состояния в условиях сжимаемости плоскими штампами и вальцами. В этом случае можно оценить энергию, необходимую для работы сдавливающего устройства, и энергию, затраченную непосредственно на процесс сдавливания зерна [3-5].

В данной работе предлагается реологическая модель зерна, которая, на взгляд авторов, учитывает его основные механические параметры, которые влияют на деформирование. Представлены выражения для определения силовых характеристик при плющении зерна плоскими плитами прочностной машины Инстрон и вальцами плющилки.

Основная часть

Известно, что зерно имеет очень сложную структуру. Из работы Романьского [3] вытекает, что на процесс деформирования зерна в большой степени влияют такие механические свойства как упругость и вязкость. Упругость связана с первым этапом механического нагружения зерна, а вязкость с последу-

ющими этапами возрастания нагрузки. Исследования [4] плющения зерна на прочностной машине Инстрон показали, что данный процесс можно описывать обобщенной моделью Кельвина-Фойгта. Форму зерна, которое находится между плоскими плитами прочностной машины, приближенно можно принять за эллипсоид с полуосями a, b, c (рис. 1).

Тогда объем зерна будет

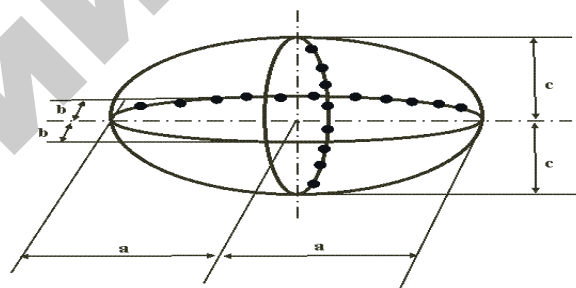


Рисунок 1. Форма зерна в виде эллипсоида с полуосями a, b, c

$$V = \frac{4}{3} \pi abc \quad (1)$$

Плотность зерна

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

где m – масса зерна, кг;

V – объем зерна, м^3 .

Для определения изменения плотности зерна можно использовать выражение

$$\rho_I = \frac{\rho}{1 - \varepsilon}, \quad (3)$$

где ρ_I – плотность зерна после плющения, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ε – относительная деформация зерна, которое определяется как

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (4)$$

где Δl – абсолютная деформация зерна, м;

$l = 2c$ – толщина зерна до деформирования, м.

Реологическая связь между напряжениями и относительной деформацией зерна примет следующий вид [6]:

$$\sigma = \varepsilon E + \gamma \varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (5)$$

где E – коэффициент упругости зерна, МПа;

γ – коэффициент вязкости зерна, МПа · с;

t – время процесса деформирования, с;

σ – напряжение в зоне контакта плиты Инстрона и поверхности зерна, МПа.

Обозначим через a и b границы контакта зерна и плиты Инстрона, которые будут определяться силой давления P_{zg} , со стороны Инстрона. Приблизительно считаем, что пятно контакта есть круг диаметра $2b$. Во время плющения зерна пятно контакта растет, а толщина l уменьшается до достижения Инстроном заданного максимального давления.

Зависимость силы давления плиты Инстрона от напряжения на поверхности контакта

$$P_{zg} = \int_0^{\varepsilon} \sigma \cdot s \cdot d\varepsilon, \quad (6)$$

где s – площадь поверхности контакта зерна с плитой деформатора ($s = \pi \cdot ab$), мм².

Предположим, что скорость деформации постоянная, то есть $\frac{d\varepsilon}{dt} = v = const$, тогда формула (6) примет вид

$$P_{zg} = \int_0^{\varepsilon} \varepsilon (E + \gamma \cdot v) \cdot s d\varepsilon. \quad (7)$$

После интегрирования имеем

$$P_{zg} = \frac{s\varepsilon^2}{2} \cdot (E + \gamma \cdot v). \quad (8)$$

Параметры P_{zg} , ε , v определяем экспериментальным путем с помощью Инстрона. Из уравнения (8) мы можем найти только одно неизвестное из трех (γ , E и s), два других должны быть известны. При изучении процесса плющения зерна пшеницы сорта Корвет на Инстроне были определены средние параметры процесса плющения: $P_{zg} = 3000$ Н, $l = 0.003$ м, $\Delta l = 0.0026$, $s = 0.00001$ м². Модуль упругости для следующих сортов пшеницы – Ява, Корвет, Крис, Микон, Саква был взят из работы [3]. На рис. 2, а, б, в показана зависимость коэффициента вязкости от изменения коэффициента упругости при разной продолжительности процесса плющения выбранных сортов пшеницы.

Из рис. 2 видно, что коэффициент вязкости зерна зависит от времени плющения. Чем больше время плющения, тем больший коэффициент вязкости. Процесс плющения для нижней части зерна будет идентичным. Работа, затраченная на деформирование зерна, будет

$$dA = \sigma d\varepsilon, \quad (9)$$

где A – работа, отнесенная к объему зерна, Мпа/м³.

Аналогично работа определяется при деформировании зерна в плющилке.

Для теоретических расчетов параметров процесса плющения зерна рассмотрим механизм, показанный на рис. 3, который является упрощенной схемой производственных зерноплющилок.

Деформирование различных точек зерна по горизонтали происходит по траектории жесткого обода вальца. Абсолютная деформация точек зерна по горизонтали будет

$$x = r(1 - \cos \alpha),$$

где α – угол деформации зерна, рад;

$r = D/2$ – радиус вальца, м.

Определим абсолютную скорость деформирования точек зерна в этом направлении

$$V_x = r\omega \sin \alpha, \quad (10)$$

ω – угловая скорость вальца, с⁻¹.

Относительная деформация

$$\varepsilon_x = \frac{2r(1 - \cos \alpha)}{\mu}. \quad (11)$$

И скорость деформирования

$$\frac{d\varepsilon_x}{dt} = \frac{2r\omega \sin \alpha}{\mu}. \quad (12)$$

Связь между напряжениями и деформациями в зоне контакта будет

$$\sigma = \varepsilon_x E + \gamma \varepsilon_x \frac{d\varepsilon_x}{dt}. \quad (13)$$

Максимальная граница деформирования зерна вдоль оси y будет

$$y = r \sin \alpha \quad (14)$$

Если предположить, что пятном контакта будет окружность, то площадь пятна определится

$$s_v = \pi \frac{y^2}{4} = \pi \frac{r^2 \sin^2 \alpha}{4}. \quad (15)$$

Силы, распределенные вдоль контакта

$$P_{zg} = \int_0^{\varepsilon} \sigma \cdot s_y \cdot d\varepsilon_x. \quad (16)$$

Можно считать скорость деформирования зерна постоянной $\dot{\varepsilon}_x = const$, тогда

$$P_{zg} = \int_0^{\varepsilon} (\varepsilon_x E + \gamma \varepsilon_x \dot{\varepsilon}_x) \frac{\pi}{4} r^2 \sin^2 \alpha d\varepsilon_x. \quad (17)$$

Выводы

Представлена реологическая модель зерна пшеницы, которая учитывает упругие и вязкие свойства в процессе деформирования

Получена зависимость силы давления плиты прочностной машины Инстрона от контактного напряжения. Из полученного выражения можно определить вязкость зерна.

Получена зависимость силы давления вальца плющилки от напряжения в зоне контакта. Контактное

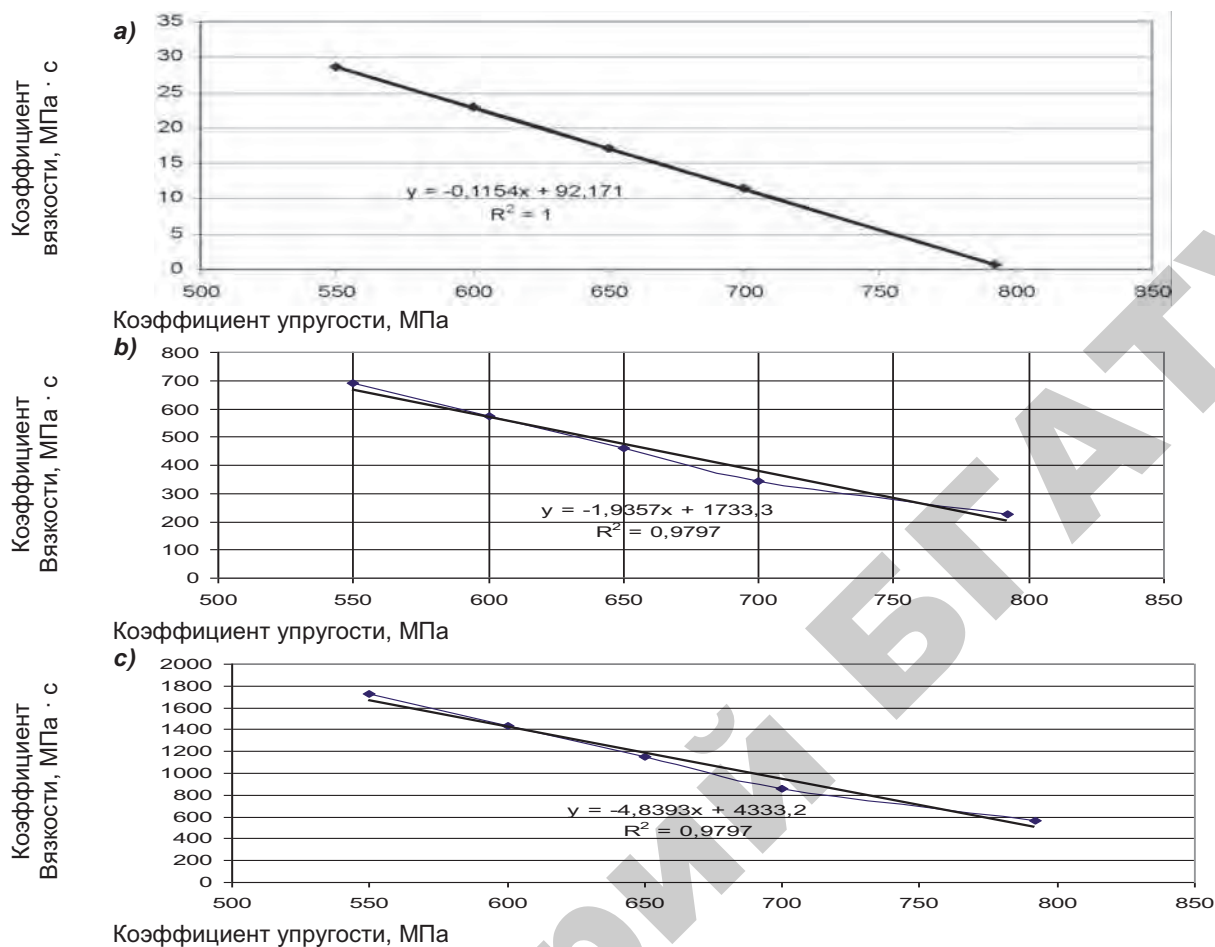


Рисунок 2. Зависимость параметра вязкости от изменения модуля упругости зерна пшеницы за время его плющения а) $t=0,1$ с б) $t=2$ с в) $t=5$ с. при указанных на графиках коэффициентах уравнения линейной регрессии $y = y(x)$

напряжение учитывает упруговязкие свойства зерна пшеницы, площадь контакта, скорость деформирования, размеры вальца и угол деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дайнеко, В.А. Теоретическое обоснование мощности электропривода вальцовой плющилки / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова, Н.А. Воробьев // Агропанорама, 2012. – №4. – С. 18-29.

2. Janiak, G. Laskowski, J. 1996. Metodyka określania cech wytrzymałościowych ziarna dla potrzeb procesów przetwórstwa. Biul. Nauk. Przem. Pasz. XXXV N.1. – S. 45-58,

3. Romański, L Analiza i modelowanie procesu zgniatania ziarna pszenicy. Zeszyty Naukowe AR Wrocław. Nr 494. Rozprawy CCXX. ISSN 0867-7964; 0867-1427, 2004. – S. 108.

4. Chigrev, O. Romański, L., 2009. Opredelenije dinamiczeskich i procnostnykh svojstv pluschenija zerna. st. 244-248 Mieżdunarodnaja nauczno-practiczeskaja konferencija / BGATU, Minsk.

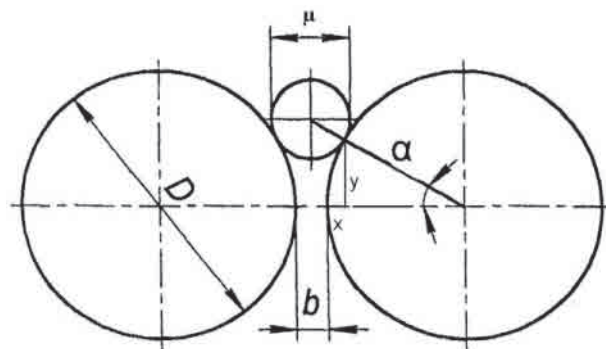


Рисунок 3. Упрощенная схема зерноплющилки

5. Chigrev, O. Model matematyczny procesu deformacji ziarna przy jego zgniataniu. Bioagrotechnical Systems Engeniiring. Politechnika Warszawska Płock. – Vol.6, ISBN 978-83-62081-40-0, 2010. – S. 13-19.

6. Ишлинский, А.Ю. Прикладные задачи механики / А.Ю. Ишлинский. – М.: Наука, 1986. – Т. 1. – С. 372.