

Е.В. ШТЕФАН, д-р техн. наук, проф., НУХТ, Київ,
С.І. БЛАЖЕНКО, канд. техн. наук, доц., НУХТ, Київ

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ ОРГАНІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Розглянуто проблему визначення модуля пружності та коефіцієнту Пуасона дисперсних матеріалів типу лузги соняшника, соломи, жому, пивної дробини, деревинної стружки і подібних матеріалів. Представлено методику експериментального визначення модуля пружності коефіцієнта Пуасона дисперсних систем.

Постановка проблеми дослідження обумовлена необхідністю проектування ефективного технологічного обладнання для виробництва твердого біопалива. Використання методів математичного моделювання у якості інструментального ядра у сучасних технологіях проектування процесів та обладнання по обробленню дисперсних матеріалів (ДМ) неможливо без врахування структурно-механічних особливостей цих матеріалів і, в першу чергу, таких їх реологічних властивостей твердої фази, як пружність, пластичність, в'язкість та ін. Значною проблемою при отриманні адекватних результатів чисельного моделювання процесів пресування при виробництві твердого біопалива є відсутність в довідковій літературі реологічних характеристик відповідних видів дисперсних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій по даній проблемі свідчить, що на сьогоднішній день розроблено математичні моделі оброблення ДМ в галузі механіки ґрунтів, порошкової металургії та харчової промисловості [1 – 3]. Застосування таких моделей для аналізу процесів пресування, подрібнення, змішування ДМ з твердою фазою органічного походження обмежується відсутністю даних про реологічні властивості відповідних фаз. Тому, **метою роботи** є розроблення методів та проведення експериментальних досліджень по визначенню структурно – механічних та реологічних параметрів твердої фази ДМ типу лушпиння зернових культур, соломи, стружки деревини та ін.

Математична модель. Розглядаючи конкретну переробну технологію,

© Е.В. Штефан, С.І. Блаженко, 2012

приймаємо концепцію подання сировинних дисперсних мас як двохфазних сумішей пористої або зернистої твердої деформованої структури з рідиною чи газом, яку надалі будемо розглядати у вигляді моделі суцільного текучого середовища з приписуваними їй фізичними властивостями, які феноменологічно відображають молекулярну структуру середовища і внутрішні рухи речовини, що відбуваються в ній.

Для описання механічної поведінки таких матеріалів необхідно використовувати поняття напружень, деформацій, щільності, а також швидкості зміни цих параметрів.

Ці тензорні та скалярні характеристики мають локальну природу і визначаються за допомогою операцій граничного переходу, коли елементи простору (об'єми і поверхні) стягуються до точок (матеріальних).

У традиційних моделях континуума точки ототожнюють з частками середовища (нескінченно малий об'єм матеріального континуума), а ті, у свою чергу, є елементарними носіями властивостей матеріалу.

Подібне ототожнення в дисперсній масі з твердою фазою рослинного походження ускладнюється через брак єдиної думки про те, що потрібно розуміти під часткою такого середовища.

Динамічні аспекти механічної поведінки ДМ регламентуються рівняннями балансу у формі закону збереження кількості руху з врахуванням закону збереження маси у межах представницького елемента (ПЕ) ДМ. При цьому для кожної з фаз ДМ рівняння відносного руху фаз представляються у вигляді [1]:

$$\alpha_1 \left(\rho_1 \frac{d\mathbf{u}}{dt} - \rho_2 \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right) - \nabla \boldsymbol{\sigma}^f - \frac{\mathbf{R}}{\alpha_2} - \alpha_1 (\rho_1 - \rho_2) \mathbf{G} = 0, \quad (1)$$

$$\rho_2 \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\nabla \mathbf{P} - \frac{R}{\alpha_2} + \rho_2 \mathbf{G} = 0, \quad (2)$$

де відповідно до конкретного механізму взаємопроникнення фаз дисперсної системи (фільтрація, дифузія і т.п.) враховується сила \mathbf{R} , яка пропорційна відносній середній швидкості потоку газорідкої фази (аналог сили в'язкого опору):

$$\mathbf{R} = \frac{\mu}{a^2} \alpha_1 \alpha_2 (\mathbf{v} - \mathbf{u}), \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості (кг с/м) для нестисливої рідини; a – узагальнений коефіцієнт, що враховує конфігурацію простору пор дисперсійного середовища.

Для формулювання визначальних співвідношення (між деформаціями та напруженнями) у межах ПЕ ДМ розроблена методика, яка складається з наступних етапів:

1. Вводиться у розгляд два рівні структурного аналізу ДМ – мікроаналіз (на основі розглядання окремого мікро-фрагменту (частки) дисперсної системи формулюються співвідношення щодо параметрів його механічної поведінки) та макроаналіз, де виконується осереднення параметрів по макро-об'єму ПЕ. Запропоновано ввести у розгляд ідеалізований мікро-фрагмент ДМ – елементарний об'єм у вигляді кругового порожнього циліндра (рис. 1).

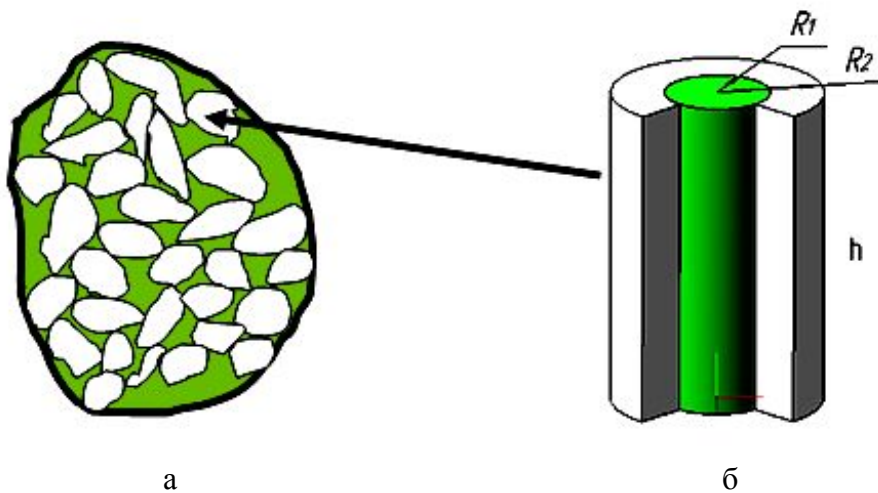


Рис. 1 – Макро-фрагмент (а) та ідеалізований мікро-фрагмент (б) ДМ

Матеріал даного циліндра (тверда фаза ДМ на мікро рівні) вважається нестисливим, а його вісь збігається з напрямком одного з головних компонентів тензора швидкостей деформації.

В області зайнятій циліндром $R_1 < r < R_2$; $0 < z < h$ розглядаються тільки два компоненти швидкості переміщень точок матеріалу v_r і v_z , які задовольняють рівнянню нерозривності:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

2. Для нівелювання результатів введеної ідеалізації розглядається параметр швидкості локальної (на мікрорівні) енергії деформування твердої фази з подальшим її осередненням по всьому об'єму циліндра:

$$D = \sigma_0 \gamma_0 \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} \sqrt{\frac{\psi e^2}{\gamma_0^2} + \frac{\varphi \Gamma^2}{\gamma_0^2}} \right)^{n+1} + \sigma_T \gamma_0 \frac{1}{\alpha_1} \sqrt{\frac{\psi e^2}{\gamma_0^2} + \frac{\varphi \Gamma^2}{\gamma_0^2}}. \quad (5)$$

При виведенні (5) враховані параметри дисперсності матеріалу $\alpha_2 = 1 - \alpha_1 = \frac{R_1^2}{R_2^2}$, $\varphi = \alpha_1$; $\psi = \frac{\alpha_1}{2\alpha_2}$, а також узагальнена реологічна модель ма-

теріалу твердої фази $\sigma = \sigma_0 \left(\frac{\dot{\gamma}}{\gamma_0} \right)^n + \sigma_m$, де σ_T – границя текучості,

$\gamma = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{R_1^4}{r^4} e^2 + \Gamma^2}$ – параметр інтенсивності швидкостей деформацій ПЕ, σ_0 ,

γ_0 , n – константи апроксимації експериментальних даних; e , Γ – перший та другий інваріанти тензора напружень; $w = \frac{1}{\alpha_1} \sqrt{\psi e^2 + \varphi \Gamma^2}$.

3. На основі (5) формулюється загальна структура визначальних співвідношень через компоненти тензорів напружень σ_{ij} і швидкостей деформацій e_{ij} :

$$\sigma_{ij} = \left(\frac{\sigma_0 \left(\frac{w}{\gamma_0} \right)^n + \sigma_T}{w} \right) \left[\varphi e_{ij} + \left(\psi - \frac{1}{3} \varphi \right) e \delta_{ij} \right], \quad (6)$$

Експериментальні дослідження проведені з використанням спеціального пресуючого обладнання, яке забезпечує високий тиск (400 – 500 МПа) ущільнення ДМ з незначним (в ідеалі наближеним до нуля) об'ємним вмістом дисперсійного середовища. Отриманий таким способом матеріал можна умовно вважати компактним (однофазним), тобто матеріалом твердої фази досліджуваного ДМ. Згідно розробленої методики [4] отримано набір зразків, що представляють собою тверду фазу лузги соняшника та гречки, стружки сосни та дуба, соломи та висівок. Проведено експериментальні випробування цих зразків з метою визначення модуля пружності та коефіцієнта Пуассона відповідних матеріалів. Для експериментальних випробувань було використано універсальну випробувальну машину TIRATEST-2151.

Оброблення результатів проведених досліджень (рис. 2) дозволили визначити значення реологічних параметрів, що представлені у табл. 1.

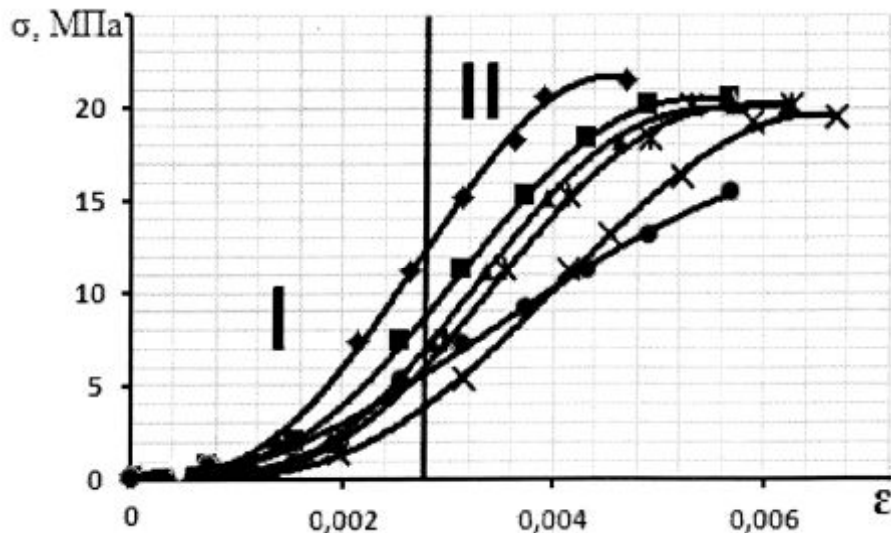


Рис. 2. Діаграми деформування зразків з: \blacklozenge – лушпиння соняшника; \blacksquare – соломи; \blacktriangle – лушпиння гречки; \bullet – висівок; \times – стружки дуба; $*$ – стружки сосни

Таблиця 1 – Реологічні константи твердої фази досліджуваних зразків

№	Тип зразка	Коефіцієнт Пуассона	Модуль пружності, ГПа
1	Лушпиння соняшника	0,125	3,4407
2	Стружка сосни	0,118	2,6804
3	Лушпиння гречки	0,123	3,1254
4	Стружка дуба	0,127	2,9874
5	Солома	0,124	3,1584
6	Висівки	0,134	2,1458

Аналіз отриманих діаграм показує, що досліджувані матеріали є нелінійно пружними.

На першій ділянці модуль Юнга є змінним в залежності від прикладеного навантаження, на даній ділянці проходить поступове зникнення пор (мікророзорів) між частинками дисперсної фази, що утворились в результаті часткової релаксації матеріалу.

На другій ділянці, характер якої близький до лінійного, величина модуля Юнга залишається сталою (погрішність в межах 5 – 15 %), на ділянці відбувається деформування безпосередньо дисперсної фази.

Висновки.

Отримані результати дозволяють замкнути рівняння представленої математичної моделі та забезпечити адекватність проведення відповідних обчислювальних експериментів.

Список літератури: 1. *Штефан Є.В.* Построение аналитической модели процессов деформирования дисперсных материалов / *Є.В. Штефан, С.И. Блаженко* // *Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технологии, оборудование.* – 2003. – Вып. № 13. – С. 26 – 33. 2. *Штефан Є.В.* Інформаційні технології проектування обладнання для мундштучного пресування керамічних мас / *Є.В. Штефан* // *Зб. наук. праць ВАТ «УкрНДІВогнеупорів ім. А.С. Бережного».* – 2010. – № 110. – С. 593 – 598. 3. *Штефан Є.В.* Розроблення інформаційних технологій проектування машин та апаратів харчових виробництв / *Є.В. Штефан* // *Наукові праці ОНАХТ.* – 2006. – Вип. 28, Т. 2. – С. 222 – 223. 4. *Штефан Є.В.* Експериментальний метод дослідження реологічних властивостей органічних матеріалів – відходів зернової промисловості / *Є.В. Штефан, Д.В. Риндюк* // *Наукові праці НУХТ.* – 2008. – № 25. – С. 106 – 108.

Поступила в редколегію 28.08.12

УДК 678.05+678.02

Побудова математичної моделі процесів механічного оброблення дисперсних матеріалів органічного походження / *Є.В. ШТЕФАН, С.І. БЛАЖЕНКО* // // *Вісник НТУ «ХП».* – 2012. – № 48 (954). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 132 – 137. – Библиогр.: 4 назв.

Рассмотрена проблема определения модуля упругости и коэффициента Пуассона дисперсных материалов типа лузги подсолнуха, соломы, жома, пивной дробины, древесной стружки и подобных материалов. Представлена методика экспериментального определения модуля упругости и коэффициента Пуассона дисперсных материалов.

Considered problem of determination of the module of resiliency and coefficient of Pyasson of dispersible materials of type of husk of sunflower, straw, bagasse, beer pellet, arboreal shaving and similar materials. Presented methodology of experimental determination of the module of resiliency and coefficient of Pyasson of disperse materials.