

УДК 621.891

Некоз О.І., Штефан Є.В., доктори техн. наук,
Петреба С.П., Шуляк С.О. (НУХТ, Київ)

ВИКОРИСТАННЯ СІТКОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ РОБОТИ ОЛІЙНОГО ПРЕСА

У статті наведено аналіз роботи шнекового преса для відтиснення олії сітковими методами. Сформульовано завдання пружно-пластичності, наведено її вирішення за допомогою програми – Plastic-002. Одержано розподіл напружень і деформацій продукту у вихідному вузлі преса.

Ключові слова: олійний прес, сіткові методи, скінчено-елементна модель вихідного вузла.

Для випучення олії з рослинної сировини за різними технологіями останнім часом широко використовується пресування. Основним видом обладнання для вигнічування олії є шнекові (зеєрні) преса.

Вигнічування олії в шнековому пресі відбувається за рахунок стискання шнечки під час її просування шнеком удовж зеєрного барабана завдяки зменшенню вільного об'єму між витками шнека. На виході з преса розташовано вихідний регульований пристрій (рисунок 1), в якому за рахунок осьового переміщення конуса 2 змінюється кільцевий зазор між ним і вихідним фланцем 1. Тоді самим регулюється тиск робочого середовища, а отже, і ступінь відтискання олії та продуктивність преса.

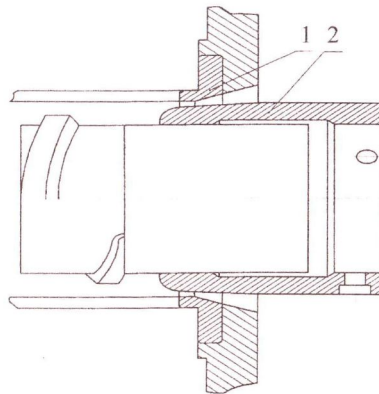


Рисунок 1 – Схема регулювального пристрою шнекового преса

Метою статті є аналіз напружено-деформованого стану робочого середовища в зоні вихідного вузла олійного преса.

Ураховуючи, що середовища олійного виробництва під час пресування (м'ятка, мезга, макуха) є дисперсними, детермінований аналіз їх поведінки в робочій зоні преса, а особливо у вихідному вузлі, значно ускладнюється. Проте, сучасні засоби механіки деформованого тіла, які ґрунтуються на використанні сіткових методів, забезпечують можливість суттєво полегшити вирішення такої задачі.

Математична модель процесу деформування.

Для аналізу процесу деформування робочого середовища у вихідному вузлі використано модель формування деталей із порошкових матеріалів [1]. Розглядається деформування в момент часу t довільно обмеженою поверхнею Ω об'єму V дисперсного матеріалу, який складається з дисперсної фази, обмеженої поверхнею $\Omega_1 \in \Omega$, і дисперсійного середовища, обмеженого поверхнею $\Omega_2 \in \Omega$. Силowe навантаження матеріалу в точці x визначається граничними умовами:

– на межі Ω_1 задані швидкості:

$$\vec{v} \Big|_{\Omega_1} = \vec{v}(x);$$

– на межі Ω_2 задані зусилля:

$$\vec{P} \Big|_{\Omega_2} = \vec{P}(x).$$

У кожній точці області Ω повинні дотримуватись:

1) рівняння рівноваги:

$$\sigma_{ik,k} + \rho \bar{F}_i = 0;$$

2) рівняння нерозривності:

$$\ln \rho + \operatorname{div} \bar{U} = 0;$$

3) кінетичні співвідношення:

$$\dot{\varepsilon}_{ik} = \frac{1}{2}(\dot{u}_{ik} + \dot{u}_{ki}),$$

де σ_{ik} , $\dot{\varepsilon}_{ik}$ – тензори напружень і швидкості деформацій, відповідно;

$\bar{U}$, $\bar{F}$ – вектори переміщень і зусиль, відповідно;

ρ – густина матеріалу.

Швидкості деформацій $\dot{\varepsilon}_{ik}$ мають в адитивний вигляд:

$$\dot{\varepsilon}_{ik} = \dot{\varepsilon}_{ik}^e + \dot{\varepsilon}_{ik}^j, \quad (1)$$

де $\dot{\varepsilon}_{ik}^e$, $\dot{\varepsilon}_{ik}^j$ – відповідно, пружна та непружна складові тензора швидкості деформацій.

Пружна складова, яка підкоряється закону Гука,

$$\dot{\varepsilon}_{ik}^e = \frac{1+\nu}{E} \left(\dot{\sigma}_{ik} + \delta_{ik} \frac{\nu}{1+\nu} \dot{\sigma}_{\ell\ell} \right), \quad (2)$$

де E , ν – модуль пружності та коефіцієнт Пуассона, які для дисперсного середовища визначаються, згідно з [2], наступним чином:

$$E = E_0(1-\theta)^{5/2}, \quad \nu = 2\nu_0 \frac{(2-3\theta)}{(4-3\theta)},$$

де E_0 і ν_0 – відповідно, модуль пружності та коефіцієнт Пуассона твердої фази;

θ – пористість.

Для непружної складової швидкості деформації застосовано нормальний встановлений закон течії [3]:

$$\dot{\varepsilon}_{ik}^j = \mu \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{ik}}, \quad (3)$$

де μ – множник типу Лагранжа;

Φ – потенціал, який визначає умови початку течії ізотропного дисперсного матеріалу, для якого згідно з [1]:

$$\Phi(p, I_2^2, \theta) = \frac{p^2}{\psi} + \frac{I_2^2}{\varphi} - (1 - \theta)\sigma_T^2 = 0, \quad (4)$$

де p – гідростатичний тиск у матеріалі;

I_2^2 – другий інваріант девіатора напружень:

$$\left(I_2^2 = \frac{1}{2} S_{ij} S_{ij} \right),$$

де S_{ij} – компоненти девіатора напружень;

φ, ψ – функції пористості θ .

$$\psi = \frac{2(1-\theta)^3}{3\theta}, \quad \varphi = \frac{1}{3}(1-\theta)^2,$$

де σ_T – межа текучості твердої фази.

У праці дослідження деформування дисперсних середовищ олійного виробництва (мезга, макуха) його можна розглядати як процес, що є близьким до непружного деформування.

Тоді повні напруження є сумою пластичної σ_{ik}^p та релаксаційної σ_{ik}^r складових:

$$\sigma_{ik} = \sigma_{ik}^p + \sigma_{ik}^r.$$

Для опису такого процесу доцільно використати пружнов'язкопластичну модель деформівного тіла (рисунок 2 [3]), яка надає можливості розглядати пружно-пластичне деформування як усталену в'язкопластичну течію. Тоді множник μ у виразі (3) визначається з рівняння (4), а визначальні співвідношення матимуть вигляд:

$$\dot{\sigma}_{ij} = \left(D_{ijkl}^e - \frac{D_{ijkl}^e \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{mn}} \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{qr}} D_{qrkl}^e}{\xi \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{mn}} \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{mn}} + \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{mn}} D_{mnop}^e \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{op}}} \right) \dot{\epsilon}_{kl}, \quad (5)$$

де D_{ijkl}^e – коефіцієнти матриці пружних властивостей, які визначаються згідно з (2).

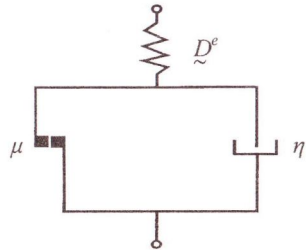


Рисунок 2 – Схема пружнов'язкопластичної моделі деформівного тіла

Для подання задачі у варіаційній формі як вагові функції використовували варіації швидкостей переміщень $\{\delta \dot{U}\}$ (4). Тоді варіаційне рівняння рівноваги функціонала матиме вигляд:

$$\int_V (\nabla[\delta \dot{U}]) \{\dot{\sigma}\} dV - \int_V \{\dot{F}\} \{\delta \dot{U}\} dV - \int_{\Omega_2} \{\dot{P}\} \{\delta \dot{U}\} d\Omega = 0, \quad (6)$$

де $\nabla = \frac{\partial}{\partial x_i}$ – набла - оператор,

Розв'язання сформульованої задачі (6) здійснювали проекційно-сітковими методами у формі методів скінчених елементів (МКЕ). Для цього функціонал представляли сумою внесків окремих елементів у кількості N_e (6):

$$\sum_{e=1}^{N_e} \int_{V^e} [B]^T [D] [B] dV - \sum_{e=1}^{N_e} \int_{V^e} [N]^T [\dot{P}] dV - \sum_{e=1}^{N_e} \int_{\Omega^e} [N]^T \{\dot{P}\} \{n\} d\Omega = 0,$$

або матричною формою:

$$[K] \{\dot{U}\} = \{\dot{Q}\} = \{\dot{Q}^f\} \{\dot{Q}^p\}, \quad (7)$$

де $[K]$ – матриця пружно-пластичної жорсткості елемента:

$$[K] = \sum_{e=1}^{N_e} \int_{V^e} [B]^T [D] [B] dV,$$

де $[B]$ – матриця, яка пов'язує деформації та вузлові переміщення в елементі;

$[D]$ – конституціональна матриця, яка визначається згідно з (2);

$[N]$ – матриця форми елементів [5];

$\{\dot{Q}^f\}$ – вектор швидкостей зміни вузлових зусиль, еквівалентних зміні об'ємного навантаження;

$$\{Q^r\} = \sum_{e=1}^{Ne} \int_{V^e} [N]^T \{\dot{F}\} dV,$$

де $\{Q^r\}$ – вектор швидкостей зміни вузових зусиль, еквівалентних зміні поверхневого навантаження:

$$\{Q^p\} = \sum_{e=1}^{Ne} \int_{\Omega^e} [N]^T \{\dot{p}\} \{n\} d\Omega,$$

де n – вектор нормалі на поверхні Ω_2 .

Візуалізація числового рішення.

Аналізуючи роботу вихідного вузла можна вважати, що деформування і переміщення макухи в кільцевому зазорі між конусом 2 і вихідним фланцем 1 (рисунок 1) відбувається під дією тиску P (рисунок 2).

Вихідна скінчено елементна модель подано на рисунок 3.

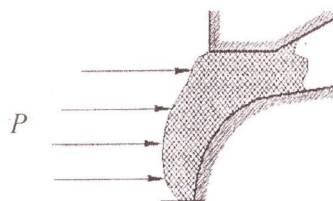


Рисунок 3 – Схема протискання макухи крізь кільцевий зазор вихідного вузла

Після задання властивостей матеріалу і граничних умов розв'язання рівнянь (7) здійснювали за допомогою програми PLASTIC-002 [6]. Візуалізація числового розв'язання для скінчено-елементної моделі (рисунок 4) у вигляді характеру розподілу напружень, переміщень і пористості матеріалу наведено на рисунки 5-7.

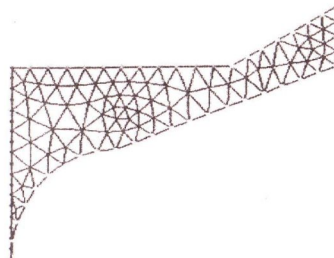


Рисунок 4 – Скінчено-елементна модель вихідного вузла преса

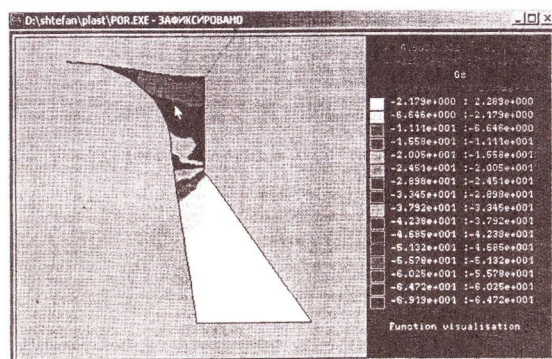


Рисунок 5 – Розподіл осевих напружень

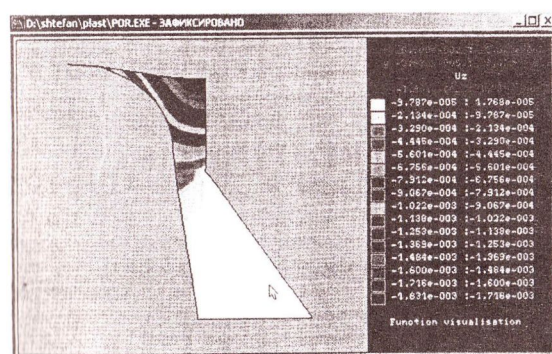


Рисунок 6 – Розподіл осевих деформацій

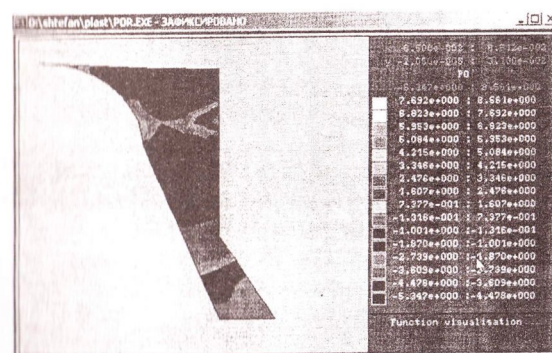


Рисунок 7 – Розподіл пористості

Змінюючи вхідні геометричні і силові параметри, можна вирішувати задачі оптимізації роботи вихідного вузла олійного преса.

Висновки.

1. Сформульовано загальну задачу пружнов'язкопластичності для розрахунку напружено деформованого стану дисперсного середовища методом скінчених елементів.

2. Із використанням програмної системи Plastic-002 одержано вихідну скінчено-елементну модель вихідного вузла олійного преса.

3. Із використанням запропонованої математичної моделі і програмної системи Plastic-002 визначено розподіл напружень, переміщень і пористості матеріалу у вихідному вузлі.

4. Результати, що одержали, засвідчують перспективність використання запропонованого методу для аналізу роботи олійного преса

Література

1. Штерн М.Б. Феноменологические теории прессования порошков / М.Б. Штерн, Г.Г. Сердюк. – К.: Наук. думка, 1982. – 140 с.
2. Русинко К.Н. Аналитическое описание термоупругопластического деформирования твердого тела / К.Н. Русинко, Е.И. Блинов // Прикладная механика. – 1981. – Т. 17, № 11. – С. 48-53.
3. Писаренко Г.С. Управления и краевые задачи теории пластичности и ползучести: справ. пособие / Г.С. Писаренко, Н.С. Можаровский. – К.: Наук. думка, 1981. – 496 с.
4. Бреббия К. Применения метода граничных элементов в технике / К. Бреббия, С. Уокер. – М.: Мир, 1982. – 248 с.
5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
6. Штефан Є.В. Наукове обґрунтування вибору раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесів і обладнання харчових та фармацевтичних виробництв: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12 / Є.В. Штефан. – К., 2011. – 35 с.

