

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОРМОСУМІШЕЙ ПІД ВПЛИВОМ ВІБРАЦІЙНИХ ПОЛІВ

***В.С. Ловеїкін, доктор технічних наук
Ю.В. Човнюк, А.В. Гудова, кандидати технічних наук***

В роботі представлені результати теоретичних досліджень впливу вібраційних сил на показники процесу транспортування-змішування. Подано схему реологічного стану кормосумішей під дією вібрації.

Реологія, кормосуміш, вібрація, напруження зсуву, в'язкість.

Постановка проблеми. Однією з технологічних задач у виробництві й транспортуванні кормосумішей є приведення їх у стан течії (при перебуванні у шнеку). Ця задача розв'язується шляхом динамічного знакозмінного навантаження (вібрації). До того ж вібрація кормосуміші (певної частоти, амплітуди, поляризації) сприяє зниженню сил опору (тертя), які виникають при її транспортуванні-змішуванні.

Доцільність розділення процесу формоутворень у кормосуміші, диктується особливостями фізико-механічних явищ, які протікають у сумішах під впливом вібраційних полів. Вивчення умов трансформації сил сухого тертя у в'язке, причин виникнення пружних і дисипативних сил, механізмів зниження в'язкості кормосуміші та інших питань реології кормосумішей сприяє вирішенню багатьох технологічних задач і у першу чергу спрямовані на вибір раціональних режимів вібрування кормосумішей при їх транспортуванні за допомогою шнекових пристроїв.

Аналіз останніх досліджень. Питання, пов'язані з дослідженням механізму вібраційного переміщення сипких матеріалів, розглянуто у роботах: І. І. Блехмана [2], П. С. Берника [11], І. Х. Гончаревича [3, 4], Л. В. Межуєвої [5], В. О. Плачкової [6], В. М. Потураєва [7], С. А. Русанова [8] та інших. Зокрема, Л. В. Межуєвою розроблено математичну модель процесу віброзмішування сипких кормових мас при приготуванні кормів для свиней в змішувачі періодичної дії з внутрішніми віброактивними поверхнями; встановлено і обґрунтовано вплив фізико-механічних, реологічних, режимних і конструктивно-технологічних параметрів на процес змішування.

© В.С. Ловеїкін, Ю.В. Човнюк, А.В. Гудова, 2014

Плачкова В.О. [6] експериментально обґрунтувала межі інтенсивності кутової вібрації; вивела диференціальне рівняння руху корму у віброгвинтовому дозаторі, завдяки якому можна оцінити вплив параметрів кутової вібрації і коефіцієнтів тертя на величину подачі і питому енергоємність процесу.

Як правило, реологічні дослідження кормосумішей проводять лише у статичному стані чи у режимі усталених коливань (після закінчення перехідних процесів).

У даному **(мета) дослідженні** зроблена спроба провести теоретично обґрунтовану оцінку реологічних властивостей кормосуміші під час вібраційної дії.

Результати досліджень. Найбільш важливим реологічним параметром є час релаксації кормосуміші. Відомо, що у момент припинення динамічного впливу зазвичай будь-яка суміш переходить зі стану в'язкої течії у структуровану систему.

Цей проміжок часу можна з деяким наближенням вважати величиною релаксації й оцінити співвідношенням:

$$t_p \equiv \tau_{\text{релакс}} = \frac{1}{\tilde{n}} \cdot \ln \left(\frac{y_n}{y_{n+1}} \right), \quad (1)$$

де \tilde{n} – коефіцієнт в'язкого опору; y_n, y_{n+1} – амплітуда коливань кормосуміші у n -ому й $(n+1)$ -му періодах коливань відповідно.

Тривалість релаксації кормосуміші ($\tau_{\text{рел}}$) справляє суттєвий вплив на вибір режимів динамічного навантаження і, зокрема, частоти вібрації. Ця залежність може бути подана у вигляді співвідношення:

$$w \geq \frac{\tilde{n}}{\ln \left(\frac{y_0}{\alpha} \right)}, \quad (2)$$

де w – частота вібрації; y_0 – амплітуда коливань вібраційного поля; α – число періодів власних коливань кормосуміші до повного затухання.

Залежність (2) дозволяє за відомого значення коефіцієнта в'язкого опору і амплітуди вимушених коливань призначити параметр частоти, котрий забезпечує найбільшу ефективність вібраційного впливу.

У кормосумішах з сухим тертям, внаслідок невисоких значень пружних характеристик, імпульс затухає протягом одного періоду власної частоти коливань ($\tau_{\text{релаксації}} \ll T$), тобто період релаксації у суміші набагато менше періоду коливань ($T = 2\pi/w$).

Для кормосуміші з переважно в'язкими властивостями коливання від одиночного імпульсу носять періодичний затухаючий характер ($\tau_{\text{релаксації}} \gg T$). У залежності від співвідношення пружних та дисипативних властивостей кормосуміші період і декремент затухання будуть різними. Там, де у суміші мало рідкої компоненти (в'язких властивостей кормосуміші), ще помітним є вплив сухого тертя, що, до речі, викликає деяку нелінійність й аперіодичність коливань. Дослідження поведінки кормосуміші під дією короткотривалих імпульсів дозволяє подати якісну та кількісну оцінку реологічного стану. Так для визначення в'язкого опору можна скористатись залежністю наступного виду:

$$\tilde{n} = \frac{y^* \cdot w_1}{2\pi}, \quad (3)$$

де w_1 – власна частота коливань системи; $y^* = \ln \frac{y_n}{y_{n+1}}$ – декремент затухання.

Схема реологічного стану кормосумішей під дією вібрації. В залежності від характеру вібраційного впливу загальний цикл ущільнення кормосуміші можна розділити на три стадії.

1. На початковому етапі вібрування кормосуміші переважають сили сухого тертя. Прояв та їх тривалість існування різні. Для рухливих кормосумішей тривалість обчислюється кількома секундами, а для помірно жорстких й жорстких – десятками секунд. Спостерігається переукладання складових кормосуміші, випадкове їх розміщення, а також неповний контакт частинок вказаної суміші між собою. Такий рух елементів кормосуміші сприяє зниженню сил тертя між частинками суміші, більш компактному їх розташуванню.

2. Під впливом динамічного навантаження система легко переходить у другу стадію шляхом перебудови випадкової структури у стійку у результаті переукладання та взаємної орієнтації твердих часточок суміші.

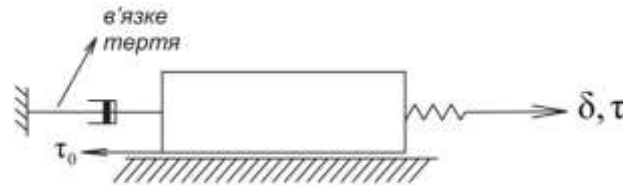
3. Для останньої стадії вібрування характерне зникнення сил кулонівського тертя. Коливання частинок й кормосуміші у цілому носять синусоїдальний характер, зсув фаз між ними наближається до нуля, амплітуда коливань стабілізується. У гранично зруйнованому стані кормосуміш має лише в'язкопружні властивості.

Наведені вище міркування дозволяють висунути загальну схему реологічного стану кормосумішей під дією вібрації (рис. 1). Тут зони I –II –III представляють собою етапи, що характеризуються реологічними станами кормосуміші, у вигляді моделей сухого тертя, Шведова-Бінгама, Кельвіна-Фойгта.

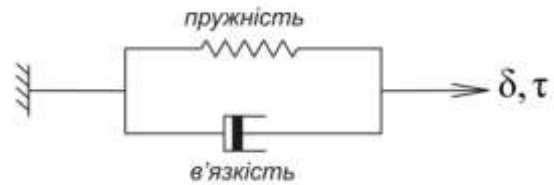
I:
Сухе тертя



II:
В'язкопластичне
середовище Шведова-
Бінгама $\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma}$,
 τ_0 – граничне напруження
зсуву;
 η – пластична в'язкість
кормосуміші



III:
В'язкопружна модель
Кельвіна-Фойгта



$I \rightarrow II \rightarrow III$

Рис. 1. Схема реологічного (еволюціонуючого) стану кормосумішей під впливом вібраційних полів.

На цій стадії кормосуміш має елементи сухого тертя, але переважаючими стають сили в'язкого та пружного опорів. Період складає $\frac{1}{3}$ і більше від загального циклу вібрування суміші.

Вплив частоти коливань на прояв властивостей кормосуміші у межах моделі Кельвіна-Фойгта. Вплив частоти коливань на прояв властивостей кормосуміші, як середовища, описується реологічною моделлю Кельвіна-Фойгта [9], і може бути визначений рівнянням наступного типу:

$$\frac{\tau}{G} = \gamma + \lambda \cdot \dot{\gamma}, \quad (4)$$

де τ – напруження зсуву у суміші; G – модуль зсуву; γ – деформація зсуву; $\lambda = \frac{\eta}{G}$ – час релаксації системи (тобто скільки часу система пам'ятає, що вона була навантажена); η – динамічна в'язкість кормосуміші.

При зміні деформації за синусоїдальним законом $\gamma = \gamma_0 \cdot \sin wt$, матимемо:

$$\tau = G \cdot \gamma_0 \cdot (\sin wt + \lambda w \cdot \cos wt) = G \cdot \gamma_0 \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 w^2} \cdot \sin(wt + \varphi), \quad (5)$$

де γ_0 – амплітуда деформації зсуву; w – частота (кругова) вібрації; t – час; $\varphi = \arctg\left(\frac{1}{\lambda w}\right)$. Тоді:

$$\sin \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda^2 w^2}}; \quad \cos \varphi = \frac{\lambda w}{\sqrt{1 + \lambda^2 w^2}}. \quad (6)$$

Проаналізуємо вираз (5).

А. Якщо $\lambda w \gg 1$, то в'язкість середовища кормосуміші велика, а частоти вібрації високі:

$$\frac{\eta \cdot w}{G} \gg 1, \quad (7)$$

тоді:

$$\tau = G \cdot \gamma_0 \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 w^2} \cdot \sin wt, \quad \varphi \rightarrow 0, \quad (8)$$

тобто τ й γ співпадають по фазі коливань, і наближено маємо:

$$\tau \approx G \cdot \gamma_0 \cdot \lambda w \cdot \sin wt, \quad \gamma = \gamma_0 \cdot \sin wt. \quad (9)$$

Отже, вібрація посилює напруження у кормосуміші. Тобто із зростанням частоти w , у суміші зростають напруження зсуву, які сприяють швидшому руйнуванню суміші і легшому у ній перемішуванню компоненти (у рамках моделі Кельвіна-Фойгта).

Б. Якщо $\lambda w \ll 1$, то в'язкість середовища кормосуміші мала, частоти вібрації низькі:

$$\frac{\eta \cdot w}{G} \ll 1, \quad (10)$$

тоді:

$$\tau = G \cdot \gamma_0 \cdot \sqrt{1 + \lambda^2 w^2} \cdot \sin\left(wt + \frac{\pi}{2}\right), \quad \varphi \rightarrow \frac{\pi}{2}, \quad (11)$$

тобто τ й γ зсунуті по фазі коливань, і наближено маємо:

$$\tau \approx G \cdot \gamma_0 \cdot \cos wt, \quad \gamma = \gamma_0 \cdot \sin wt. \quad (12)$$

У цьому випадку вібрація слабо змінює напруження у кормосуміші.

В. Якщо $\lambda w \sim 1$, то

$$\frac{\eta \cdot w}{G} \sim 1, \quad (13)$$

тоді:

$$\tau = G \cdot \gamma_0 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(wt + \frac{\pi}{4}\right), \quad \varphi \rightarrow \frac{\pi}{4}, \quad (14)$$

тобто τ й γ зсунуті по фазі коливань на $\frac{\pi}{4}$, і вібрація підвищує напруження у кормосуміші у $\sqrt{2}$ разів, при цьому $\gamma = \gamma_0 \cdot \sin wt$.

Отже, вібрація підвищує напруження зсуву у кормосуміші у 1,4 раза, що приводить до покращання однорідності суміші в межах 8–10 %.

Висновок. У будь-якій реологічній моделі, сили опору рухові компоненти у кормосуміші при дії вібрації зменшуються, а саме перемішування її з кормосумішшю інтенсифікується. Отже, в залежності від інтенсивності частоти коливань змінюється напруження зсуву у кормосуміші, що, в свою чергу, впливає на її однорідність.

Список літератури

1. Берник М.П. Энергозберігаючий вібропривод нового змішувача для переробних виробництв : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.03 «Системи приводів» / М.П. Берник. – Вінниця, 2001. – 20 с.
2. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
3. Гончаревич И.Ф. Вибрация – нестандартный путь / И.Ф. Гончаревич. – М.: «Наука», 1986. – 207 с.
4. Гончаревич И.Ф. Динамика вибрационного транспортирования / И.Ф. Гончаревич. – М.: Наука, 1972. – 244 с.
5. Межуева Л.В. Обоснование влияния виброэффектов на однородность кормовой смеси: Дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Межуева Лариса Владимировна. – Оренбург, 2003. – 241 с.
6. Плачкова В.А. Совершенствование рабочего процесса винтового дозатора трудносыпучих кормов путем применения угловой вибрации: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / В.А. Плачкова. – Челябинск, 1984. – 20 с.
7. Потураев В.Н. Вибрационные транспортирующие машины: основы теории и расчета / В.Н. Потураев, В.П. Франчук, А.Г. Червоненко. – М.: Машиностроение, 1964. – 272 с.
8. Русанов С.А. Математичне моделювання процесу віброкипіння сипких середовищ / С.А. Русанов, К.В. Луняка, В.В. Карманов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2006. – №1(17). – С. 32–40.
9. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости / У.Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 800 с.

В работе представлены результаты теоретических исследований влияния вибрационных сил на показатели процесса транспортировки-смешивания. Представлена схема реологического состояния кормосмесей под действием вибрации.

Реология, кормосмесь, вибрация, напряжение сдвига, вязкость.