

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДІНКИ СИПУЧОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ ВІБРАЦІЙНОМУ ВПЛИВОВІ

Кутняк Микола, аспірант кафедри теплогазопостачання,
Коц Іван, канд. техн. наук, професор кафедри теплогазопостачання,
Вінницький національний технічний університет, Україна

Теоретичні дослідження вібраційних процесів були розпочаті ще на початку минулого століття, але ці процеси настільки складні і неординарні, що однієї математичної моделі, яка б адекватно описувала поведінку сипучого матеріалу під дією вібрації, не існує. Всі існуючі моделі поведінки сипучого матеріалу під дією вібрації можна розділити на дві групи. Моделі одиничної частки, що розглядають зернистий матеріал як дискретне середовище. Моделі суцільного середовища, що розглядають зернистий матеріал як якесь єдине цільне та безперервне середовище, що рухається особливим чином під дією коливань.

Перша робота, присвячена теоретичному дослідженню поведінки матеріальної частинки, що рухається по похилій площині з кутом α до горизонту (рис. 1), що здійснює гармонічні прямолінійні коливання, була опублікована Г. Лінднером [1] в 1912 році. Подальший розвиток даної моделі було зроблено І.І. Блехманом, Г.Ю. Джанелідзе, Р.Ф. Нагаєвим та іншими.

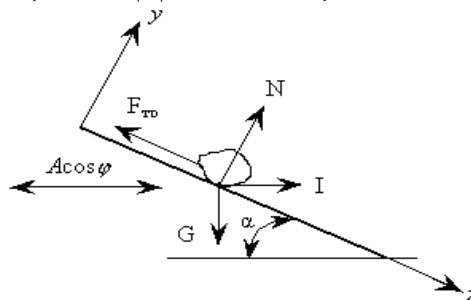


Рисунок 1 - Матеріальна частинка на похилій площині, що здійснює гармонічні прямолінійні коливання

Моделі одиничної частки припускають, що матеріал постійно контактує з віброуючою поверхнею. На практиці частинки матеріалу під дією вібрації можуть відриватися від поверхні і знаходитися в зваженому стані. Тому подібні моделі вони не відображають суті явищ, що відбуваються.

Пружно-в'язко-пластичні моделі шару сипучого середовища не враховують характер процесів підкидання оброблюваного матеріалу (рис. 2) [2].

До недоліків подібних моделей можна віднести надто велику кількість рівнянь, що описують поведінку матеріалу, а також можливість використання даних моделей тільки для процесів вібраційного транспортування сипучих матеріалів з невеликою товщиною шару. Подібні моделі не пояснюють таких явищ, як виникнення циркуляційних потоків або хаотичного руху в сипучому середовищі під дією вібрації.

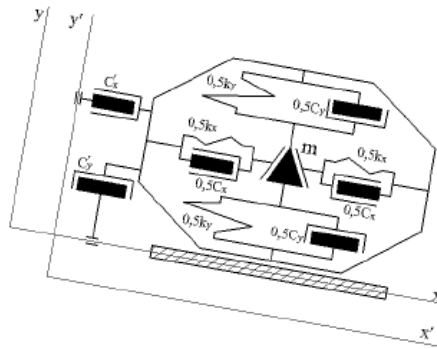


Рисунок 2 - Пружно-в'язко-пластична модель сипучого середовища

Достатньо відомою моделлю суцільного середовища є модель у якій сипучий матеріал під дією вібрації представляється у вигляді в'язкої рідини. Важливим є існування теоретичного підтвердження того, що сипуче середовище, яке піддається вібраційному впливові, може описуватися рівняннями гідродинаміки [3].

В даній роботі використовується кінетичне рівняння Больцмана, в якому рівняння першого наближення є три рівняння:

- рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0,$$

- рівняння Нав'є-Стокса:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u \nabla\right) u = \frac{1}{m} F + \frac{1}{\rho} \left(P - \frac{\mu}{3} \nabla u\right) + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u,$$

- рівняння теплопровідності:

$$\frac{3}{2} \left(\frac{\partial}{\partial t} + u \nabla\right) \theta + (\nabla u) \theta - K \frac{1}{\rho} \varepsilon = 0,$$

де ∇ -оператор «набла»; u -математичне очікування вектора швидкості; P -тензор тиску; μ -динамічна в'язкість; θ -квазітемпература; K -коефіцієнт теплопровідності; ε -коефіцієнт, що враховує відвід квазітепла.

У результаті розгляду моделей поведінки сипучого матеріалу при вібраційному впливові було визначено, що найбільш зручною та перспективною є модель у якій сипучий матеріал представляється у вигляді в'язкої рідини та описується рівняннями гідродинаміки. На основі цієї моделі є можливим моделювання всіх станів сипучого середовища: стан спокою та стан регулярного чи нестійкого рухів.

Список використаної літератури

1. Lindner G., Förderrinnen. Die Fördertechnik. 1912. Heft 2. – 54p.
2. Кузнецов, С. П. Динамический хаос [Текст] / С.П. Кузнецов. - М.: Физматлит, 2001. - 285 с.
3. Блехман, И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника [Текст] / И.И. Блехман. – СПб.: Руда и металлы, 2013. – 640 с.