

Pasnak I.V. Influence of critical time of fire in buildings of industrial enterprises on technologies of its liquidation

Integrated mathematical model for prediction of critical time of the fire in building considering a limit value for human hazards of fire was developed by using an equation of material balance of fire. This model allows to predict the total critical fire, a key issue, for example, to solve the problem of evacuation in case of fire or supplying a pump in fire extinguishing. Based on the model prediction of a critical time for fire in industrial enterprise and the necessity of developing new methods of fire extinguishing technologies for industry facilities are considered.

Keywords: fire, critical fire, oxygen concentration, the concentration of toxic gases, area of fire, fire extinguishing.

УДК 62-5

Аснір. Д.П. Ребот¹ – НУ "Львівська політехніка"

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИПКИХ СЕРЕДОВИЩ

Розроблено методику визначення основних фізико-механічних характеристик сипкого середовища. Вона базується на: а) представленні фізичної моделі середовища під час віброоброблення виробів у вигляді нашарування плоских балок; б) побудові адекватної математичної моделі динамічного процесу; в) використанні Атеб-функцій під час аналітичного опису динамічного процесу; г) зіставленні теоретичних та експериментальних результатів.

Актуальність. Вібраційне об'ємне оброблення широко застосовують в різних галузях промисловості. Його використовують на фінішному обробленні виробів для механічного чи механо-хімічного знімання часточок металу з поверхні, зміцнення останніх шляхом наклепу, підвищення корозостійкості та ін., відділення частинок різних розмірів, густини (збагачення руд – вібросепарація – первинне оброблення), а також і для вібросепарації сипких середовищ. У переважній більшості під час дослідження впливу різних чинників на вказані вібропроцеси використовують експериментальні дослідження. Це є довготривалою та дорогозатратною процедурою. До того ж на базі експериментальних досліджень можна зробити узагальнюючі висновки, які стосуються однотипних за структурою та фізико-механічними властивостями матеріалів, незмінним технологічним процесом та ін. Щодо теоретичних досліджень, які стосуються вказаних задач, то вони не набули належного розвитку через складність описання динамічних явищ, які супроводжують процес віброоброблення чи сепарації. Саме математичні моделі цих процесів можуть найбільш повно урахувати весь комплекс зовнішніх та внутрішніх чинників, які впливають на нього. Ці чинники умовно можна поділити на зовнішні та внутрішні. До основних зовнішніх чинників можна віднести: компонування та характеристики віброзбудника, контейнера, його підвіски тощо. До внутрішніх – структура та фізико-механічні властивості середовища, його взаємодія із контейнером та ін. Щодо впливу зовнішніх чинників, та найпростіших моделей середовищ, низку теоретичних та прикладних задач, пов'язаних із віброобробленням, розглянуто, наприклад, у [3-13]. У цих працях, для математичного моделювання динаміки сипкого середо-

вища розвинуто основну ідею роботи [2]. Її суть полягає у такому: в процесі віброоброблення сипке середовище можна моделювати як нашарування плоских балок, що взаємодіють із стінками контейнера. Тут розглянуто різні математичні моделі сипких середовищ [3, 12] (лінійну та нелінійну). Це дало змогу проаналізувати вплив динаміки середовища на технологічний процес за умов, що основні характеристики сипкого середовища є відомими. Проте, у межах запропонованих моделей середовищ, є низка параметрів, значень котрих не наведено у довідниковій літературі, а механізм їх знаходження не описаний. Йдеться передусім про "модуль пружності", степінь не лінійності пружних властивостей середовища. Саме ці параметри є базовими відповідних математичних моделей і вони притаманні всім класам споріднених сипких середовищ. Виходячи із наведеного, задача про методику визначення (у межах тієї чи іншої математичної моделі динамічних процесів) основних фізико-механічних характеристик сипких середовищ є: по-перше, підґрунтям для теоретичного та практичного застосування результатів існуючих досліджень [3-13]; по-друге, базою для побудови моделей динамічних процесів середовищ за, наприклад, вертикальних коливань сипкого середовища. Саме ці питання і є предметом розгляду цієї роботи. Звідси і випливає актуальність поставленої задачі.

Постановка задачі. У [12] показано, що у випадку, коли: 1) сипке середовище моделювати у вигляді нашарування плоских балок; 2) динамічні пружні властивості матеріалу сипкого середовища вдається описати узагальненим нелінійним співвідношенням

$$\sigma = E\varepsilon^{\nu+1}, \tag{1}$$

де: σ – нормальне динамічне напруження, ε – "відносна деформація" шару середовища у випадку його поздовжніх коливань, E – динамічний модуль пружності ν – стала, причому $\nu + 1 = (2m + 1) / (2n + 1)$, $m, n = 0, 1, 2, \dots$, диференціальне рівняння вказаних коливань можна привести до вигляду

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \alpha^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^\nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0. \tag{2}$$

У формулі (2) $u(x, t)$ – "пружне" поздовжнє переміщення шару середовища із координатою x в довільний момент часу t , стала α виражається через невідомі характеристики середовища E, ν та густину середовища у вигляді $\alpha^2 = E(\nu + 1) / \rho$, ρ – маса одиниці довжини умовного шару сипкого середовища.

Примітка 1. У вказаній моделі динамічного процесу середовища вважаємо, що динамічні сили тертя є малими і ними можна для першого наближення розв'язку задачі знехтувати. Такі властивості має, наприклад, сипке середовище із скляних кульок.

Отже, задача полягає у розробленні методики для визначення основних динамічних характеристик сипкого середовища, тобто параметрів E та ν . Надалі вважатимемо, що густина сипкого середовища є незмінно, тобто динамічна та статична густини збігаються і є відомою величиною.

Методика розв'язування задачі. В основу визначення основних динамічних параметрів сипкого середовища, математичною моделлю динамічного процесу якого є диференціальне рівняння (2), за крайових умов

¹ Наук. керівник: проф. З.А. Стоцько, д-р техн. наук

$$u(x, t)|_{x=0} = u(x, t)|_{x=l} = 0 \quad (3)$$

покладено: по-перше, ідею використання спеціальних періодичних Атеб-функцій [12-16] для побудови розв'язку крайової задачі (2), (3); по-друге, залежність частоти власних поздовжніх коливань сипкого середовища від амплітуди; по-третє, властивості реакцій нелінійних систем на зовнішнє періодичне збурення; по-четверте, візуальне фіксування резонансного явища у сипкому середовищі під дією малого за величиною повільно змінного періодичного збурення; по-п'яте, зіставлення теоретичних та експериментальних результатів.

Дійсно, в [16] показано одночастотні розв'язки крайової задачі (2), (3) виражаються за допомогою періодичних Атеб- функцій у вигляді

$$u(x, t) = asa(1, 1/(v+1), kx)ca(v+1, 1, \omega(a)t + \varphi_0), \quad (4)$$

де: a – амплітуда, $\omega(a)t + \varphi_0$ – фаза (φ_0 – початкова фаза), $\omega(a)$ – частота коливань, яка визначається залежністю

$$\omega(a) = a(k/l)^{(v+2)/2} a^{v/2} = (E(v+1)a^v(k/l)^{v+2}/\rho)^{1/2}, \quad (5)$$

$$k = \sqrt{\pi}\Gamma((v+2)/(v+1))\Gamma^{-1}((l/2) + (v+2)/(v+1))$$

На рисунку представлено залежність частотного параметру $\Omega = \omega(a)(\rho/E)^2$ від амплітуди коливань, параметру нелінійності v та довжини контейнера.

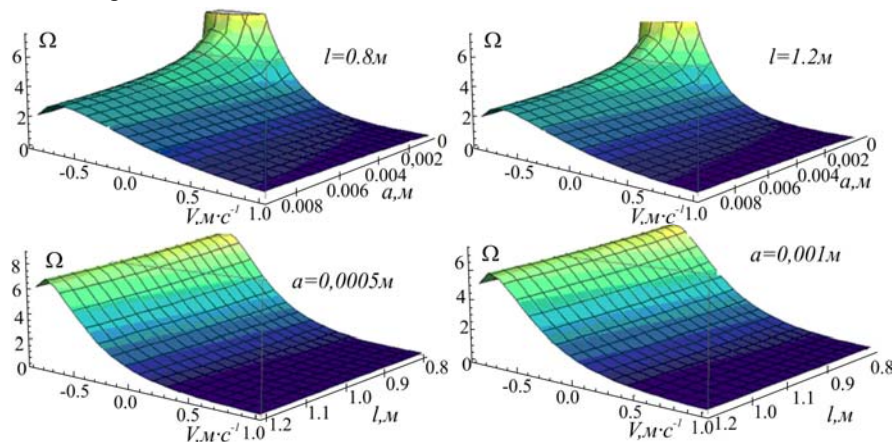


Рис. Залежності параметра коливань Ω від амплітуди a та нелінійності пружних характеристик: а-б) v ; а також параметрів: в) v з) l

Отримані залежності є базою для визначення основних фізико-механічних характеристик сипкого середовища. Для розглядуваної математичної моделі динамічного процесу сили опору (внутрішнього тертя) середовища приймають малими. Це дає змогу стверджувати, що амплітуда поздовжніх його коливань залишається сталою величиною навіть за дії на нього малої за величиною повільнозмінної частоти поздовжнього періодичного збурення за умови, що пе-

ріод останнього відмінний від періоду власних коливань. Отож, повільно змінюємо частоту зовнішнього періодичного збурення аж до моменту часу, поки його частота не стане близькою до частоти власних коливань середовища. Цей момент легко встановити візуально, адже він характерний тим, що амплітуда коливань сипкого середовища починає стрімко зростати. Він виникає за умови

$$2\pi / \mu(\tau_s) \approx 2\Pi_T / \omega(a_s). \quad (6)$$

У формулі (6): $\mu(\tau_s)$ – частота зовнішнього періодичного збурення та τ_s – моменти "повільного часу" за котрих спостерігається резонанс, a_s – амплітуда початкового збурення, $2\Pi_T$ – період по фазі власних коливань розв'язку (4), тобто

$$\Pi_T = \sqrt{\pi}\Gamma(v+2)\Gamma^{-1}(1/2+v+2). \quad (7)$$

Підставляючи в залежність (6) значення частоти $\omega(a)$, відповідно до формули (5) отримуємо

$$\Pi_T \mu(\tau) / \pi = (E(v+1)a^v(k/l)^{v+2}/\rho)^{1/2}. \quad (8)$$

Нехай для двох різних експериментів із відомими різними нерезонансними значеннями амплітуд a_1 та a_2 явища резонансу спостерігаємо за частот зовнішнього збурення (частот руху дебалансу) відповідно $\mu_1 = \mu(\tau_1)$ та $\mu_2 = \mu(\tau_2)$. Тоді, враховуючи наведене, із (8) маємо

$$\mu_1 / \mu_2 = (a_1 / a_2)^{v/2}. \quad (9)$$

Останнє співвідношення визначає невідомий параметр v

$$v = 2 / \log_{\delta}(a_1 / a_2), \quad (10)$$

де $\delta = \mu_1 / \mu_2$.

Маючи параметр який характеризує нелінійно пружні властивості сипкого середовища, тобто v , знаходимо, враховуючи (5), (6), динамічний модуль пружності

$$E = \omega^2(a_1)\rho(l/k)^{v+2}(a_1^v(v+1))^{-1}, \quad (11)$$

або

$$E = (\Pi_T / \mu(\tau_1))\rho(l/k)^{v+2}(a_1^v(v+1))^{-1}. \quad (12)$$

Наведені співвідношення визначають одну й ту саму величину, тому з теоретичного погляду, є рівнозначними. Що стосується їх практичного використання, то, на наш погляд, співвідношення (12) є більш придатним для визначення динамічного модуля пружності. Воно потребує замірів частоти обертання дебалансу, за якої відбуваються резонансні коливання сипкого середовища та амплітуди коливань останніх.

Примітка 2. У представленні розв'язку рівняння (2) за допомогою періодичних Атеб-функцій параметр $v+1$ вважався непарним числом в широкому розумінні (дріб, чисельник та знаменник котрого є непарні числа). Співвідношення ж (10) не враховує вказаного. Проте із теорії чисел відомо, що будь-яке раціональне чи ірраціональне число із заданим наперед степенем точності ε можна подати у вказаному вигляді, тобто існують такі числа m, n , що

$$|1 + 2 / \log_{\delta} (a_1 / a_2) - (2m + 1) / (2n + 1)| < \varepsilon.$$

Висновки. Розроблена у роботі методика дає змогу на базі співставлення теоретичних результатів, які описують динаміку сипких середовищ під час віброоброблення та експериментальних, що стосуються визначення основних характеристик процесу, знайти динамічний модуль пружності та параметр нелінійності пружних властивостей матеріалу. Методика може слугувати базою для визначення характеристик вказаних середовищ за більш складних фізичних моделей сипкого середовища.

Література

1. Бабичев А.П. Проблемы вибрационной технологии / А.П. Бабичев // Вибрації в техніці та технологіях : Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця. – 1994. – № 1. – С. 1-3.
2. Субач А.П. Динамика процессов и машин объемной обработки / А.П. Субач. – Рига, 1991. – 240 с.
3. Стоцько З.А. Динаміка робочого середовища вібраційних машин об'ємної оброблення / З.А. Стоцько, Б.І. Сокіл, В.Г. Топільницький // Автоматизація технологічних процесів і виробництва в машинобудуванні і приладобудуванні : Укр. міжвід. наук.-техн. зб. – 2000. – № 35. – С. 26-32.
4. Stotsko Z. Das Unlinearparametrischmodell der Dreimassenmaschinen für die Vibrationsvolumenbehandlung und ihre Streuladung / Z. Stotsko, B. Sokil, V. Topilnytskyj // Maszyny dzwigowo-transportowe : Kwartalnik Naukowo-Techniczny. – Bytom, Poland. – 2000. – № 3. – С. 50-62.
5. Стоцько З.А. Комплексне дослідження і моделювання процесу оброблення в нелінійній багатомасовій вібраційній системі / З.А. Стоцько, Б.І. Сокіл, В.Г. Топільницький // Збірник тез 5-го Міжнародного симпозиуму інженерів-механіків у Львові, 16-18 травня. – Львів, 2001. – С. 90-92.
6. Стоцько З.А. Вплив конструкційних і кінематичних параметрів вібромашини на підвищення інтенсивності об'ємної оброблення / З.А. Стоцько, Б.І. Сокіл, В.Г. Топільницький // Вибрації в техніці та технологіях : Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця. – 2002. – № 4(25). – С. 46-52.
7. Стоцько З.А. Розроблення нелінійної моделі п'ятиконтейнерної оброблювальної вібраційної системи / З.А. Стоцько, В.Г. Топільницький, Я.М. Кусий // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні й приладобудуванні. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2011. – № 702. – С. 32-39.
8. Стоцько З.А. Застосування математичного моделювання в дослідженні динамічних процесів в нелінійній триконтейнерній оброблювальній вібраційній механічній системі / З.А. Стоцько, В.Г. Топільницький, Я.М. Кусий, О.Т. Велика // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Динаміка. Міцність та проектування машин і приладів. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2010. – № 678. – С. 103-112.
9. Стоцько З.А. Математичне моделювання коливальних одновимірних тіл при їх поздовжньому русі / З.А. Стоцько, Б. Сокіл, В. Топільницький, М. Сокіл // Машинознавство : Всеукр. щомісяч. наук.-техн. і виробн. журнал. – 2010. – № 1-2 (151-152). – С. 21-25.
10. Стоцько З.А. Математична модель триконтейнерної оброблювальної вібраційної системи / З.А. Стоцько, Б.І. Сокіл, В.Г. Топільницький, Я.М. Кусий, О.Т. Велика // Автоматизація технологічних процесів і виробництва в машинобудуванні і приладобудуванні : Укр. міжвід. наук.-техн. зб. – 2007. – № 41. – С. 54-63.
11. Стоцько З.А. Дослідження динамічних процесів сипкого середовища віброактивних машин, пристроїв та механізмів / З.А. Стоцько, Б.І. Сокіл, Я.М. Кусий, А.Р. Завербний, В.Г. Топільницький // Автоматизація технологічних процесів і виробництва в машинобудуванні і приладобудуванні : Укр. міжвід. наук.-техн. зб. – 2006. – № 40. – С. 233-237.
12. Стоцько З.А. Динаміка нелінійної механічної системи вібраційного об'ємного оброблення виробів / З.А. Стоцько, Б.І. Сокіл, Я.М. Кусий, В.Г. Топільницький // Вибрації в техніці та технологіях : Всеукр. наук.-техн. журнал. – 2006. – № 1(43). – С. 120-122.
13. Стоцько З.А. Дослідження впливу технологічних і фізико-механічних параметрів сипкого середовища на процес його сепарації / З.А. Стоцько, Б.І. Сокіл, Д.П. Котлярова, В.Г.

Топільницький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.7. – С. 158-163.

14. Митропольський Ю.А. Асимптотические решения уравнений в частных производных / Ю.А. Митропольский. – К. : Вид-во "Вища шк.", 1976. – 592 с.

15. Сенік П.М. Обращение неполной Bета-функции / П.М. Сенік // Украинский математический журнал. – 1969. – Т. 21, № 3. – С. 325-333.

16. Сокіл Б.І. Асимптотические приближения решения для одного нелинейного неавтономного уравнения / Б.І. Сокіл // Украинский математический журнал. – 1997. – Вип. 49, № 11. – С. 1580-1583.

Робот Д.П. Методика определения основных физико-механических характеристик сыпучих сред

Разработана методика определения основных физико-механических характеристик сыпучей среды. Она базируется на: а) представлении физической модели среды при виброобработке изделий в виде наложения плоских балок; б) построении адекватной математической модели динамического процесса; в) использовании Атеб-функций при аналитическом описании динамического процесса; г) сопоставлении теоретических и экспериментальных результатов.

Rebot D.P. Methods of definition the main physic-mechanical characteristics of loose environment is investigated

Methods of definition the main physic-mechanical characteristics of loose environment is investigated. It is based on: а) presentation of physical models for loose environment in vibratory separation in the form of layers of flat beams; б) construction based on the specified above adequate mathematical model of dynamic process; в) using the Ateb-function at an analytical description of the dynamic process; д) comparison of theoretical and experimental results.