

УДК 693.542.52-868

Назаренко І.І., Баранов Ю.О., Басараб В.А.¹

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ ВІБРОСИСТЕМИ В УМОВАХ ВЗАЄМОДІЇ З ОБРОБЛЮВАНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Вступ. Постановка задач досліджень. В умовах проектування ударно-вібраційних машин для ущільнення будівельних сумішей однією з найважливіших задач є оцінка характеру та величини енергії, що передається від робочого органу до середовища та визначення раціональних параметрів машини та середовища, що забезпечують даний процес. Основним критерієм ефективності роботи машини є максимальна передача енергії від робочого органу до середовища за умов мінімальних непродуктивних витрат енергії, мінімально можливої тривалості циклу, отримання виробу високої якості а також збереження високої надійності машини. Проте, слід зазначити, для представлення повної фізичної картини необхідно також врахувати крутизну

фронту динамічного навантаження а також несиметричність динамічної петлі гістерезису відносно осей координат [4]. Для проведення досліджень використано метод динамічної петлі гістерезису (ДПГ) [4].

При проведенні досліджень у відповідності з методикою [1,2,3] реєструвались наступні параметри:

- амплітуда коливань шарів суміші.
- динамічний тиск в контактній зоні "форма-суміш" та в шарах суміші.

Вихідні дані [2]: вантажопідйомність лабораторної віброплощадки-200 кг (робочий орган+форма-120кг, маса бетону-80кг), частота коливань $\omega=20$ Гц, амплітуда коливань (напіврозмах)- $X=0,75$ мм.

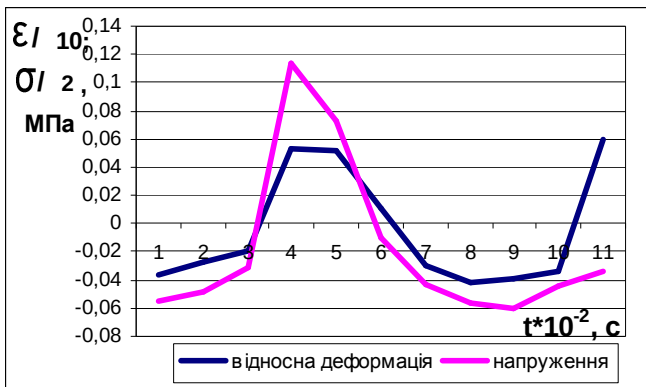


Рис.1. Запис зміни напруження та відносної деформації за цикл ущільнення.

Встановлення датчиків тиску та переміщення в форму здійснювалось за схемою (рисунком 2). Один датчик тиску (мездоза1) встановлювався на дні форми і закріплювався жорстко, інший датчик (мездоза2) встановлювався вільно на деякій висоті при завантаженні суміші. Датчики переміщення шарів суміші встановлювались на спеціальному, жорстко закріпленому в формі, штативі.

За отриманими значеннями напруження

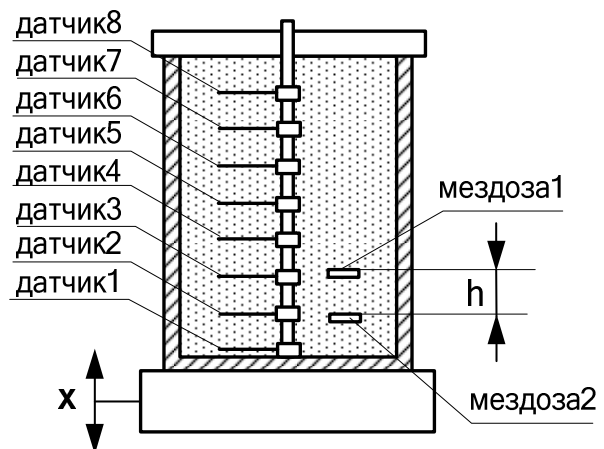


Рис. 2. Схема встановлення датчиків.

та відносної деформації побудовано динамічну петлю гістерезису (рисунок 3). Для аналізу отриманий графік умовно розділимо на ділянки: А-В, В-С та С-Д.

Ділянка А-В – відбувається випереджаючий ріст напруження по відношенню до відносної деформації, напруження σ досягає максимуму в точці В. На даному етапові відбувається плавне наростання тиску майже за лінійним законом (пружна деформація) з переходом в зону

² ¹ Назаренко І.І., д.т.н., професор КНУБА; Баранов Ю.О., к.т.н., доцент КНУБА; Басараб В.А., інженер КНУБА.

пластичної деформації.

Ділянка В-С – відбувається випереджаюче зростання відносної деформації по відношенню до напруження, відносна деформація ϵ досягає максимуму в точці С. На даній ділянці відбувається перехід від етапу навантаження до розвантаження шару суміші.

Ділянка С-D – відбувається падіння напруження та відносної деформації, іде процес розвантаження.

Слід зазначити, що в процесі віброущільнення відбувається зменшення площі ДПГ а також зміна її форми. На нашу думку, цей факт можна пояснити релаксаційними коливаннями тиску та відносної деформації з частотою відмінною від частоти коливаний установки а також накладанням коливаний форми. Оскільки площа петлі гістерезису є робота, що витрачається на ущільнення елементарного об'єму суміші, тому, стає зрозумілим, на початку циклу відбувається активне поглинання віброенергії середовищем і, як наслідок, зміна площі ДПГ.

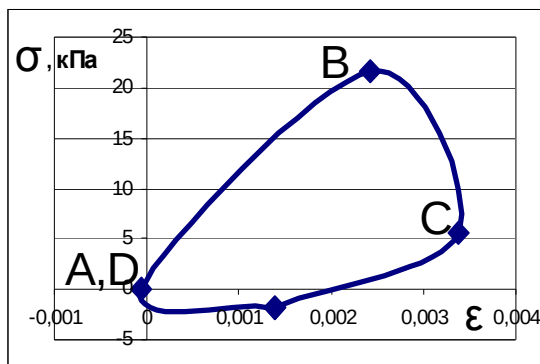


Рис. 3. Динамічна петля гістерезису в кінці циклу ущільнення.

Внаслідок проведених досліджень отримано результати запису показань датчиків для висоти суміші 1м.

Аналіз графіків вказує на неоднозначний характер руху суміші на різних етапах. Досліди проводились за умов вільного та фіксованого встановлення датчиків, тобто з можливістю руху датчика разом з сумішшю під час ущільнення або жорстке закріплення на штативі. На початковій стадії, було відмічено, відбувається синхронний рух суміші в одній фазі, зі збільшенням амплітуди по висоті. Далі, по мірі ущільнення характер руху шарів суміші змінюється – фіксується зсув фаз між показаннями датчиків а також протифазний рух суміші. За умов фіксованого встановлення датчиків ситуація виглядає дещо іншою: протифазний рух суміші більш виразний, більш того зсув фаз зафіксовано на різних висотах.

Зокрема, слід зазначити, досить різкий зсув фаз зафіксовано в умовах пошарового укла-

дання суміші з подальшою вібрацією; очевидно за таких обставин більш істотною є різниця в поведінці шарів суміші на границях укладання – “ущільнена - неущільнена” суміш. Необхідно зазначити, що основні параметри середовища в умовах дії ударно-вібраційного навантаження отримано в роботі [5].

Будемо виходити з уявлення, що напруження в середовищі змінюється за законом: $\sigma(\epsilon, \dot{\epsilon}) = E\epsilon + k\dot{\epsilon}$. Оскільки бетонна суміш є середовищем з сильним затуханням, тому запишемо хвильове рівняння у вигляді:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \beta \frac{\partial^3 U}{\partial x^2 \partial t}. \quad (1)$$

Розв'язок рівняння (1) будемо знаходити у вигляді: $U(x, t) = U_1 e^{k_1 x} + U_2 e^{k_2 (2H-x)}$. (2)

Підставивши рішення (2) у вихідне рівняння, та провівши необхідні перетворення Коефіцієнти U_1, U_2 знаходимо за методикою [4]:

$$U_1 = \frac{x_0 e^{-k_1 x}}{e^{k_1 x} + e^{-k_1 x}}, \quad U_2 = \frac{x_0 e^{k_1 x}}{e^{k_1 x} + e^{-k_1 x}}. \quad (3)$$

Основним показником, що характеризує ефективність вібромашини є енергія, яка передається оброблюваному середовищу від робочого органу. В такому випадку, знаючи енергію контактної зони і характер руху будь-якого шару середовища, можна оцінити здатність середовища до сприйняття того чи іншого рівня енергії в залежності від параметрів вібрації.

Робота контактної зони для одного періоду коливаний запишеться у вигляді [4]:

$$A_k = \int_0^T R_k(t) \dot{x}(t) dt, \quad (4)$$

Розв'язуючи (4), та враховуючи, що

$$R_k(t) = m_c x_0 \omega^2 \text{ отримаємо:}$$

$$A_k = m_c \int_0^T [x(t)]^2 [\omega(t)]^3 dt, \quad (5)$$

Де: $R_k(t)$ - контактна сила (реакція середовища), $\dot{x}(t)$ - швидкість коливаний контактної зони.

Тоді, знаючи вираз роботи, знайдемо середню потужність для постійних значень амплітуди та частоти коливаний:

$$P_{cp} = \frac{1}{2} m_c x_0^2 \omega^3 d, \quad (6)$$

Де: d - осереднений хвильовий коефіцієнт впливу активних сил середовища на рух вібросистеми.

Критерії ефективності (4)-(6) розкривають фізичну сутність взаємодії робочого органу та середовища, але вони не враховують крутизну

фронту динамічного впливу. Такий критерій можна отримати використовуючи динамічну петлю гістерезису.

Площу петлі гістерезису, як суму ділянок стиснення та розтягу можна визначити за співвідношенням [4]:

$$S = \int_0^T \sigma(t) \dot{\varepsilon}(t) dt = \int_0^{\tau} \sigma(t) \dot{\varepsilon}(t) dt + \int_{\tau}^T \sigma(t) \dot{\varepsilon}(t) dt, \quad (7)$$

Провівши необхідні перетворення, отримуємо вираз для визначення площі петлі гістерезису:

$$S = \frac{\sigma_n^2 \gamma \pi}{2E_0(1+\gamma^2)} \left[1 + \frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^2} \right], \quad (8)$$

З виразу (8) слідує, що площа петлі має дві складові:

$$S_{cm} = \frac{\sigma_n^2 \gamma \pi}{2E_0(1+\gamma^2)}, \quad S_p = \frac{\sigma_n^2 \gamma \pi}{2E_0(1+\gamma^2)} \frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^2}. \quad (9)$$

Ефективність динамічного впливу буде суттєвішою в тому випадку в якому значення S_{cm} буде більшим. Проте, варто зазначити, що можливі варіанти вібровпливу з однаковими площами ділянок стиснення але з різною крутизою фронту навантаження.

Для оцінки впливу крутизни фронту навантаження розглянемо вираз миттєвої потужності [4]:

$$P_{\text{мит}} = \sigma(t) \dot{\varepsilon}(t) = dS/dt. \quad (10)$$

Тоді миттєва потужність на стиснення:

$$P_{\text{мит}}^{cm} = \frac{1}{\alpha T} \int_0^{\alpha T} \sigma(t) \dot{\varepsilon}(t) dt. \quad (11)$$

З виразу (11) слідує, що є можливість існування варіантів з постійною та змінною швидкостями навантаження $\dot{\varepsilon}(t) = V_{\varepsilon}$. Якщо $V_{\varepsilon} = \text{const}$, тоді:

$$P_{\text{мит}}^{cm} = \frac{1}{\alpha T} V_{\varepsilon} \int_0^{\alpha T} \sigma(t) dt. \quad (12)$$

Логічно припустити, що ефективнішою буде та система в якій вища швидкість V_{ε} .

Далі можна створити узагальнений критерій, котрий порівнює обидві системи:

$$\frac{S_{cm1} V_{\varepsilon_1}}{\alpha_1 T_1} = \frac{S_{cm2} V_{\varepsilon_2}}{\alpha_2 T_2}. \quad (13)$$

Таким чином, якщо швидкість деформації $V_{\varepsilon} = \text{const}$, в такому разі ефективнішим буде той імпульс, в якого більшим є вираз (13). Якщо швидкість прикладання навантаження є величиною змінною, тоді, більш ефективною буде та система, котра має максимальне значення підінтегральної функції (11).

Слід зазначити, що величина та характер зміни наростаючої ділянки петлі гістерезису (ділянка А-В рисунок 3) залежить від швидкості зміни напруженого стану, який дорівнює відношенню напруження σ до часу дії t . За умови нескінченно повільного прикладання навантаження зберігається майже лінійна залежність між напруженням та деформацією до моменту зняття навантаження. Звідси слідує, і це підтверджується дослідженнями для ударної системи, що чим більша буде швидкість зміни напруженого стану середовища тим ширшою буде петля гістерезису. Узагальнений критерій можна записати у вигляді:

$$\frac{\sigma_{cm1} V_{\varepsilon_1} \Gamma\left(\frac{n_1+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n_1}{2}+1\right)} = \frac{\sigma_{cm2} V_{\varepsilon_2} \Gamma\left(\frac{n_2+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n_2}{2}+1\right)}, \quad (14)$$

Де: $\Gamma(x)$ - гама функція x ,

n_1, n_2 - коефіцієнти, що характеризують крутизну фронту навантаження.

Таким чином отримані залежності повністю описують всі параметри системи за ефективністю роботи вібросистеми в цілому. Для практичного застосування цих залежностей необхідно знати параметри машини та середовища. Порівнюючи їх за критерієм (14) приймають ті числові значення конкретної змішаної динамічної системи, для якої вищезазначене співвідношення приймає максимальне значення.

Висновки

В результаті проведення теоретико-експериментальних досліджень варто зазначити, що характер руху суміші в ударно-вібраційній системі є неоднозначним, відмічається значний зсув фаз між різними шарами суміші а також протифазний рух суміші. Також, слід вказати, що наведені вище викладки дозволяють описати процеси, що відбуваються в зоні контакту робочого органу та середовища а також оцінити їхню ефективність в умовах складного характеру навантаження. Аналіз динамічної петлі гістерезису в умовах дії ударно-вібраційного навантаження свідчить, що процес відбувається в умовах більш різкого навантаження суміші за одиницю часу, і, при цьому величини напружень та відносної деформації досягають більших значень у порівнянні з гармонічними режимами. Цим очевидно і

пояснюється більш “вугловата” форма петлі. Запропонований метод дає можливість описати динамічну петлю гістерезису методом поліноміальної регресії для подальшого використання.

Література

1. Баранов Д.С., Карамзин В.Е. О методике измерения давления бетонной смеси на элементы форм. Сб. НИИЖБ Стальные формы для сборного железобетона. М., Стройиздат, 1966.
2. Баранов Ю.О. Создание строительных ударно-вибрационных машин с электромагнитным приводом. Дисс. канд. техн. наук. К., 1994. – 150 с.
3. Баранов Ю.О., Клименко М.О., Басараб В.А. Методика експериментальних досліджень взаємодії середовища з робочим органом ударно-вібраційної площадки. Техніка будівництва №11.К.: КНУБА, 2003.- с. 24-28.
4. Назаренко И.И. Прикладные задачи теории вибрационных систем, К.: І.С.Д.О, 1993.-216с.
5. Назаренко І.І., Баранов Ю.О., Басараб В.А. Експериментальні дослідження взаємодії середовища з робочим органом електромагнітної ударно-вібраційної площадки. Техніка будівництва №14.К.: КНУБА, 2004.- с. 43-47.

УДК 621.867.82

Гущин В.М., Гущин О.В.¹

УПРАВЛЕНИЕ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ СТРУЙНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Введение. Цель исследования. Общеизвестные, хорошо изученные и наиболее широко распространенные пневмотранспортные установки, работающие по принципу перемещения отдельных частиц в полете во взвешенном состоянии, обладают рядом существенных недостатков: относительно небольшая производительность, высокая энергоемкость процесса транспортирования, сложность очистки воздуха, значительный выброс пыли в окружающую среду [1, 2]. Необходимость совершенствования существующих и разработки новых высокоэффективных малоэнергоемких типов пневмотранспортных установок для перемещения сыпучих материалов является актуальной задачей. Интенсификация массопереноса позволяет решить поставленную задачу на качественно новой основе.

Трансформация структуры движения аэросмеси в пневмотранспортном трубопроводе, в том числе пристенного течения, путем управляемой генерации вихревых структур позволяет интенсифицировать процессы массопереноса. Одним из методов интенсификации процессов массопереноса в пневмотранспортном трубопроводе является использование дополнительных воздушных потоков, воздействующих на движущийся в трубопроводе сыпучий материал [3, 4]. Исследования [5, 6] показали достаточно хорошую работоспособность пневмотранспортной уста-

новки, оборудованной дополнительным воздуховодом с верхним расположением воздухоподводящих патрубков. Анализ выполненных исследований показывает, что вопросы рационального размещения воздухоподводящих патрубков, отсюда, управления воздействием дополнительно воздушного потока на движущуюся аэросмесь в пневмотранспортном трубопроводе не исследованы и в литературе не рассматривались.

Целью данной работы является анализ протекающих в пневмотранспортном трубопроводе процессов, управления движением аэросмесей струйным воздействием дополнительных воздушных потоков на перемещаемый материал и выявление оптимальных технических решений применительно к условиям транспортирования сыпучих материалов с разными физико-механическими свойствами.

Результаты исследования. Поставленная цель, в соответствии с блок-схемой самоорганизации режимов движения аэросмесей при пневматическом транспортировании сыпучих материалов [3], достигается созданием завихренности потока, энергетической подпиткой, вибрационным воздействием на сыпучий материал или сочетанием двух и более факторов. Дополнительная энергия может подводиться турбулентностью воздушного потока (непрерывное или импульсное воздействие), изменением энтропии. В

¹ Гущин В.М., канд. техн. наук, доц.; Гущин О.В., канд. техн. наук, Донбасская государственная машиностроительная академия.