

УДК 693.242.523

Свиридюк Д.Я.¹

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ВІБРАЦІЙНОГО БЕТОНОЗМІШУВАЧА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМУ РОЗТАШУВАННІ БАРАБАНУ

АНОТАЦІЯ. В роботі досліджено робочий процес гравітаційного змішувача із урахуванням впливу на нього віброзбудника коливань.

Ключові слова: гравітаційний змішувач, віброзбудник коливань, вібрація, барабан змішувача, амплітуда, аналіз.

SUMMARY. In this work the workflow gravity mixer taking into account the impact on him vibrofeeders fluctuations.

Key words: gravity mixer, oscillation exciters, vibration, drum mixer, amplitude, analysis.

Постановка проблеми. Застосування активно-го робочого органу в гравітаційному змішувачі дозволяє підвищити його ефективність та зменшення часу перемішування. В роботі досліджується робочий процес гравітаційного змішувача із урахуванням впливу на нього віброзбудника коливань.

Метою даної роботи є дослідження робочого процесу гравітаційного змішувача із урахуванням впливу на нього віброзбудника коливань.

Виклад основного матеріалу дослідження. На характер коливань барабану змішувача і ефективність вібромеханічного перемішування цементобетонних сумішей впливають його маса, жорсткість пружних амортизаторів, частота і амплітуда збуджуючих сил віброзбудника коливань, координати центру тяжіння барабану змішувача, віброзбудника коливань і бетонної суміші, фізико-механічні характеристики суміші, геометричні розміри барабану змішувача і об'єм його заповнення бетонною сумішшю.

До основних параметрів і показників ефективності роботи вібромеханічного пристрою для приготування цементобетонних сумішей, що підлягають визначенню в процесі теоретичних досліджень, відносяться:

- маса і момент інерції барабану змішувача разом з віброзбудником крутильних коливань;
- жорсткість пружних амортизаторів;
- частота і амплітуда вимушених коливань барабану змішувача;
- амплітуда збуджуючих сил віброзбудника коливань;
- закон руху барабану змішувача;
- продуктивність;
- потужність приводу.

Оскільки частота і амплітуда вимушених коливань барабану змішувача бетонозмішувача є технологічними параметрами, тобто параметрами що істотно впливають на якість оброблюваної цементобетонної суміші, то в процесі теоретичних досліджень визначалися раціональні параметри, закон і області стійкого руху барабану змішувача, що забезпечують здобуття необхідного технологічного режиму.

Методикою передбачено дослідження холостого режиму роботи барабану (тобто без врахування

впливу бетонної суміші) змішувача в припущенні, що сам вертикально встановлений барабан змішувача є абсолютно жорстким тілом і що завдяки пружній підвісці вібраційна дія від барабану змішувача не передається опорній плиті і підставі бетонозмішувача.

Для визначення характеру руху барабану змішувача бетонозмішувача під дією кругової збуджуючої сили розглянемо його розрахункову схему (рис. 1,а,б) при роботі без навантаження, тобто в режимі холостого ходу. Переміщення елементів даної динамічної системи під дією віброзбудника кругових коливань можна представити у вигляді прямолінійних коливань у напрямі координатних осей, що проходять через центр тяжіння даної динамічної системи, і кутових коливань відносно цих же координатних осей.

При цьому рух барабану змішувача можна описати наступною системою рівнянь:

– переміщення по горизонталі у напрямі координатної осі Y :

$$m \frac{d^2 y_1}{dt^2} + b_2 \frac{dy_1}{dt} + c_2 y_1 = Q \sin \omega t; \quad (1)$$

– переміщення по горизонталі у напрямі координатної осі X :

$$m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + b_3 \frac{dx_1}{dt} + c_3 x_1 = Q \cos \omega t; \quad (2)$$

– кутове переміщення відносно координатної осі X :

$$J_x \frac{d^2 \psi_x}{dt^2} + n_2 \frac{d\psi_x}{dt} + k_2 \psi_x = Ql \sin \omega t; \quad (3)$$

– кутове переміщення відносно координатної осі Y :

$$J_y \frac{d^2 \psi_y}{dt^2} + n_3 \frac{d\psi_y}{dt} + k_3 \psi_y = Ql \cos \omega t; \quad (4)$$

– переміщення по вертикалі у напрямі координатної осі Z по осі X :

$$z_x = x\psi_y; \tag{5}$$

– переміщення по вертикалі у напрямі координатної осі Z по осі Y :

$$z_y = y\psi_x, \tag{6}$$

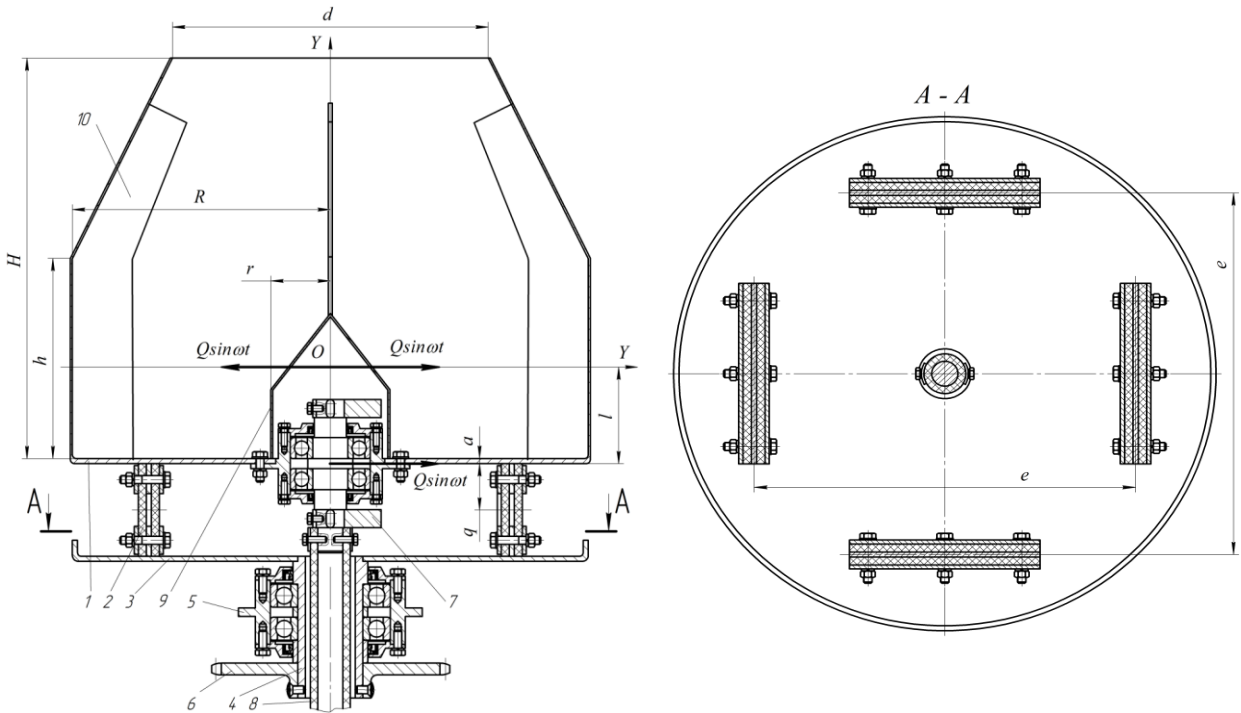


Рисунок 1. Розрахункова схема вібраційного бетонозмішувача вільного перемішування цементобетонної суміші вертикальному розташуванні барабану змішувача: а – загальний вигляд; б – розріз.

де m – маса частини бетонозмішувача, що коливається;

Q – амплітуда збуджуючої сили віброзбудника кругових коливань;

x_1, y_1, z_x, z_y – лінійні переміщення барабану змішувача у напрямі координатних осей X, Y і Z під дією гармонійних збуджуючих сил $Q\cos\omega t$ і $Q\sin\omega t$;

X, Y і Z – координатні осі, що проходять через центр тяжіння частини бетонозмішувача, що коливається;

c_2 – жорсткість і b_2 – коефіцієнт непружного опору амортизаторів у напрямі координатної осі Y ;

c_3 – жорсткість і b_3 – коефіцієнт непружного опору амортизаторів у напрямі координатної осі X ;

ψ_x, ψ_y – кутові переміщення барабану змішувача відносно координатних осей X, Y відповідно;

J_x, J_y – моменти інерції частини бетонозмішувача, що коливається, відносно координатних осей X, Y і Z відповідно;

k_2 і n_2 – коефіцієнти пружної жорсткості і непружного опору амортизаторів при кутових переміщеннях системи, що коливається, відносно координатної осі X ;

$$k_2 = 0,5c_1e + c_2(l + q);$$

$$n_2 = 0,5b_1e + b_2(l + q); \tag{7}$$

e – відстань між амортизаторами, як в подовжньому, так і в поперечному напрямі;

k_3 і n_3 – коефіцієнти пружної жорсткості і непружного опору амортизаторів при кутових переміщеннях системи, що коливається, відносно координатної осі Y ;

$$k_3 = 0,5c_1e + c_3(l + q);$$

$$n_3 = 0,5b_1e + b_3(l + q); \tag{8}$$

q – відстань від середини амортизаторів до центру додатка збуджуючих сил віброзбудника кругових коливань відповідно у напрямі координати і координати ;

c_1 – жорсткість і b_1 – коефіцієнт непружного опору амортизаторів у вертикальному напрямі;

l – відстань від центру тяжіння частини даної динамічної системи, що коливається, до центру додатка збуджуючих сил віброзбудника кругових ко-

ливань відповідно у напрямі координати Y і координати X ;

ω – кутова частота вимушених коливань віброзбудника коливань;

t – час.

Використовуючи методи класичної теорії коливань, вирішення отриманої системи рівнянь (1 - 4) для стаціонарних коливань, що описують сталий рух вертикально встановленого барабану змішувача в режимі холостого ходу, представимо в наступному вигляді:

$$y_1(t) = A_1 \sin(\omega t - \varphi_1); \quad (9)$$

$$x_1(t) = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2); \quad (10)$$

$$\psi_x(t) = \Psi_1 \sin(\omega t - \xi_1); \quad (11)$$

$$\psi_y(t) = \Psi_2 \cos(\omega t + \xi_2), \quad (12)$$

де A_1 – амплітуда гармонійних коливань центру тяжіння системи, що коливається, у напрямі координати Y ;

A_2 – амплітуда гармонійних коливань центру тяжіння системи, що коливається, у напрямі координати X ;

Ψ_1 – амплітуда кутових (крутильних) гармонійних коливань барабану змішувача відносно осі X , що проходить через центр тяжіння системи, що коливається;

Ψ_2 – амплітуда кутових (крутильних) гармонійних коливань барабану змішувача відносно осі Y , що проходить через центр тяжіння системи, що коливається;

φ_1, φ_2 – кут зрушення фаз між амплітудами збуджуючих сил і амплітудами вимушених коливань;

ξ_1, ξ_2 – кут зрушення фаз між амплітудами моментів збуджуючих сил і амплітудами кутових вимушених коливань;

$$A_1 = \frac{Q}{m\sqrt{(p_{01}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_1^2 \omega^2}}; \quad (13)$$

$$A_2 = \frac{Q}{m\sqrt{(p_{02}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_2^2 \omega^2}}; \quad (14)$$

$$\Psi_1 = \frac{Ql}{J\sqrt{(p_{03}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_3^2 \omega^2}}; \quad (15)$$

$$\Psi_2 = \frac{Ql}{J\sqrt{(p_{04}^2 - \omega^2)^2 + 4\delta_4^2 \omega^2}}; \quad (16)$$

$$p_{01} = \sqrt{\frac{c_2}{m}}; \quad \delta_1 = \frac{b_2}{2m}; \quad (17)$$

$$p_{02} = \sqrt{\frac{c_3}{m}}; \quad \delta_2 = \frac{b_3}{2m}; \quad (18)$$

$$p_{03} = \sqrt{\frac{k_2}{J}}; \quad \delta_3 = \frac{n_2}{2J}; \quad (19)$$

$$p_{04} = \sqrt{\frac{k_3}{J}}; \quad \delta_4 = \frac{n_3}{2J}; \quad (20)$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{2\delta_1 \omega}{p_{01}^2 - \omega^2}; \quad (21)$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{2\delta_2 \omega}{p_{02}^2 - \omega^2}; \quad (22)$$

$$\xi_1 = \arctg \frac{2\delta_3 \omega}{p_{03}^2 - \omega^2}; \quad (23)$$

$$\xi_2 = \arctg \frac{2\delta_4 \omega}{p_{04}^2 - \omega^2}; \quad (24)$$

Використовуючи отримані вирішення (8 - 24) системи рівнянь (1 - 6) даної динамічної системи, послідовно визначимо закони руху днища і стінок барабану змішувача, а також захисного ковпака, що контактує з оброблюваною бетонною сумішшю, як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках, і що викликають в оброблюваному середовищі нормальні і дотичні напруження, істотно впливають на ефективність вібраційної обробки і перемішування бетонних сумішей.

Закон руху днища барабану змішувача, що контактує з оброблюваною і перемішуваною бетонною сумішшю по горизонталі у напрямі координати X , можна описати наступним рівнянням:

$$X_d(t) = x_1(t) + (l - a)\psi_y(t) = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2) + \Psi_2(l - a)\cos(\omega t + \xi_2). \quad (25)$$

Закон руху днища барабану змішувача, що контактує з оброблюваною і перемішуваною бетонною сумішшю по горизонталі у напрямі координати Y , можна описати наступним рівнянням:

$$Y_d(t) = y_1(t) + (l - a)\psi_x(t) = A_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + \Psi_1(l - a)\sin(\omega t - \xi_1). \quad (26)$$

Тут $X_d(t)$ і $Y_d(t)$ – переміщення днища барабану змішувача по горизонталі у напрямі координат X і Y ;

a – товщина днища барабану змішувача.

Закон руху днища барабану змішувача, що контактує з оброблюваною бетонною сумішшю у вертикальному напрямі уздовж координати Y , можна описати наступним рівнянням:

$$Z_d(y,t) = y\psi_x(t) = \Psi_1 y \sin(\omega t - \xi_1) \quad \text{при} \\ -R \leq y \leq -(R-r) \\ \text{і при } (R-r) \leq y \leq R. \quad (27)$$

Закон руху днища барабану змішувача, що контактує з оброблюваною бетонною сумішшю у вертикальному напрямі уздовж координати X , можна описати наступним рівнянням:

$$Z_d(x,t) = x\psi_y(t) = x\Psi_2 \cos(\omega t + \xi_2) \quad \text{при} \\ -R \leq x \leq -(R-r) \\ \text{і при } (R-r) \leq x \leq R. \quad (28)$$

Тут $Z_d(y,t)$ і $Z_d(x,t)$ – переміщення днища барабану змішувача у вертикальному напрямі уздовж координат X і Y ;

R – радіус циліндричної частини барабану змішувача;

r – радіус циліндричної частини захисного ковпака.

Закон руху обичайки барабану змішувача, що контактує з оброблюваною бетонною сумішшю по горизонталі у напрямі координати X , можна описати наступним рівнянням:

$$X_{ob}(z,t) = x_1(t) + z\psi_y(t) = \\ A_2 \cos(\omega t + \varphi_2) + \Psi_2 z \cos(\omega t + \xi_2) \\ \text{при} \\ -(l-a) \leq z \leq (H-l+a). \quad (29)$$

Закон руху обичайки барабану змішувача, що контактує з оброблюваною бетонною сумішшю по горизонталі у напрямі координати Y , можна описати наступним рівнянням:

$$Y_{ob}(z,t) = y_1(t) + z\psi_x(t) = \\ A_1 \sin(\omega t - \varphi_1) + \Psi_1 z \sin(\omega t - \xi_1) \\ \text{при} \\ -(l-a) \leq z \leq (H-l+a). \quad (30)$$

Тут $X_{ob}(z,t)$ і $Y_{ob}(z,t)$ – переміщення обичайки барабану змішувача у вертикальному напрямі уздовж координат X і Y .

Закон руху обичайки барабану змішувача, що контактує з оброблюваною бетонною сумішшю у вертикальному напрямі уздовж координат Y і X , можна описати наступними рівняннями:

$$\text{- для циліндричної частини} \\ Z_{oby}(t) = R\psi_x(t) = \Psi_1 R \sin(\omega t - \xi_1); \quad (31)$$

$$Z_{obx}(t) = R\psi_y(t) = \Psi_2 R \cos(\omega t + \xi_2); \quad (32)$$

- для конусної частини

$$Z_{oby}(y,t) = R\psi_x(t) = \Psi_1 \left[R - \frac{y-(h-l+a)}{\operatorname{tg}\beta} \right] \sin(\omega t - \xi_1) \\ \text{при} \\ (h-l+a) \leq y \leq (H-l+a); \quad (33)$$

$$Z_{obx}(x,t) = R\psi_y(t) = \Psi_2 \left[R - \frac{y-(h-l+a)}{\operatorname{tg}\beta} \right] \cos(\omega t + \xi_2) \\ \text{при} \\ (h-l+a) \leq y \leq (H-l+a), \quad (34)$$

де $Z_{oby}(t)$ і $Z_{obx}(t)$ – переміщення циліндричної частини барабану змішувача у вертикальному напрямі уздовж координат Y і X ;

$Z_{oby}(y,t)$ і $Z_{obx}(x,t)$ – переміщення конусної частини барабану змішувача у вертикальному напрямі уздовж координат Y і X ;

β – кут нахилу твірної конуса до його основи,

$$\operatorname{arctg}\beta = \frac{H-h}{R-r}. \quad (35)$$

Аналіз отриманих виразів (25 – 34) показує, що барабан змішувача в процесі роботи здійснює складні просторові коливання, покликані забезпечувати ефективну вібраційну дію на перемішувачу цементобетонну суміш. Причому кожна точка, що знаходиться на внутрішній поверхні барабану змішувача має свій закон руху. Внаслідок чого перемішувача на бетонна суміш випробовуватиме змінну амплітудно-частотну дію, яка викликає в суміші різноспрямовану нормальні і дотичні напруження, що забезпечує в ній граничне руйнування внутрішніх зв'язків і велику рухливість, що сприяє збільшенню масообміну і ефективному перемішуванню.

Висновки

1. Отримані вирази (1 – 35) дозволяють встановити закон руху всіх поверхонь внутрішньої поверхні барабану змішувача, що взаємодіють з цементобетонною сумішшю, і в першому наближенні дають можливість визначити основні параметри пропонованого вібраційного бетонозмішувача вільного перемішування.
2. Уточнені параметри пропонованого вібраційного бетонозмішувача вільного перемішування можна визначити, дослідивши коливання даної динамічної системи під навантаженням, тобто в робочому режимі при перемішуванні бетонних сумішей.

Література

1. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем / І.І. Назаренко // Навчальний посібник (2-е видання). К.: Видавничий дім «Слово», 2010.-440 с.