

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЕТОНОФОРМУЮЧИХ АГРЕГАТІВ

У статті розглядаються науково-практичні проблеми, пов'язані із подальшим удосконаленням конструктивних рішень та інженерних розрахункових методик для створення сучасних бетоноформуючих агрегатів.

**Ключові слова:** залізобетон, вібрація, формування, ущільнення, середовище, амплітуда.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими завданнями.** В основі ефективності роботи таких агрегатів лежить узгоджена дія окремих механізмів робочих органів, що забезпечують операції послідовної обробки бетонної суміші при формуванні виробу. Робочий орган БФА, як правило, складається із комплексу механізмів, що забезпечують подачу бетонної суміші до форми, розподілення її, формоутворення й ущільнення виробу та опрацювання його поверхні [1, 2]. Оскільки процес виготовлення виробів пов'язаний із використанням вібраційного впливу на бетонну суміш при одночасному переміщенні агрегату в цілому, актуальною є проблема вивчення динаміки системи «механізми робочого органу – бетонна суміш» у взаємозв'язку цих операцій.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Для бетоноформуючих агрегатів, обладнаних ковзним поверхневим віброштампом у сполученні із роздавальним бункером, які отримують коливальний рух від єдиного джерела, операції витікання суміші, її розподіл у формі й ущільнення нерозривно пов'язані між собою. Аналіз динамічних особливостей цих процесів дозволяє оцінити режими роботи агрегату в цілому і визначити енергетичні витрати для забезпечення процесу.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Розглянемо сили, які діють у системі «бункер – бетонна суміш – віброзбудник – ковзний штамп» (рис.1).

Рівняння сил, діючих на частинку масою  $m$  у полі фронту плоскої хвилі,

$$m(g + A^* w^2 \sin wt) = h_{ef} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2} + S f_{ef} . \quad (1)$$

Ефективна в'язкість для середовища, яка описується рівнянням Бінгама–Шведова:

$$h_{ef} = \frac{t_o}{\dot{\gamma}} + h_o \quad (2)$$

Величина швидкості деформації

$$\begin{aligned} \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_t} &= \frac{U'_{1-2}}{D} = \frac{AB \cos d \times w \times e^{-a(\dot{\gamma}_t)} + kAB \sin(90^\circ - d) w \times e^{-a(\dot{\gamma}_t)}}{D} = \\ &= \frac{ABw \times e^{-a(\dot{\gamma}_t)}}{D} (\cos d + k \sin(90^\circ - d)). \end{aligned} \quad (3)$$

Ефективний коефіцієнт тертя у масиві бетонної суміші визначається із співвідношення сил, діючих у вертикальній або горизонтальній площинах:

$$f_{ef} = f \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_e} + \frac{C}{fmqk} - \frac{A \times w^2 \times e^{-a(\dot{\gamma}_t)}}{qk} \frac{\alpha \cos d}{\dot{\epsilon}} + \sin(90^\circ - d) \frac{\ddot{\alpha}}{\dot{\epsilon}} - e^{-a(\dot{\gamma}_t(D+Dr))} \frac{\dot{\alpha}}{\dot{\epsilon}} \quad (4)$$

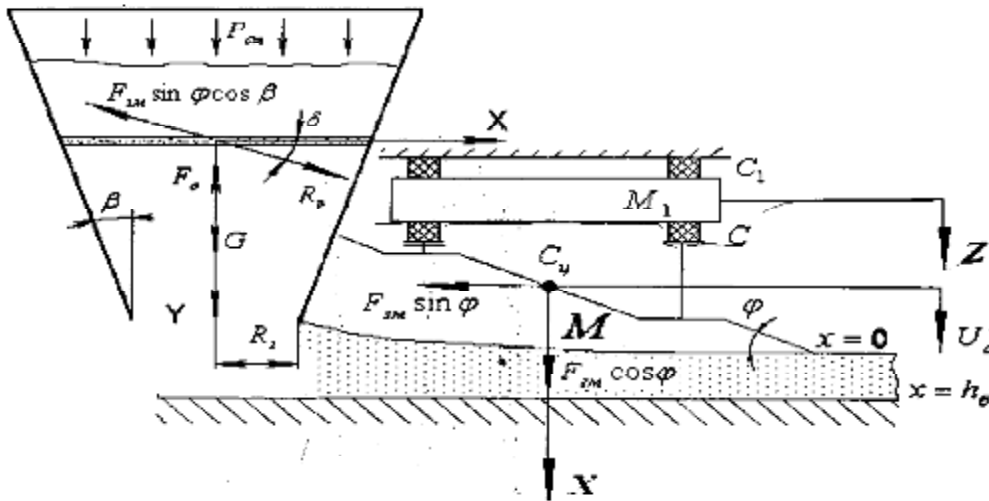


Рис. 1. Динамічна модель системи «бункер – бетонна суміш – вібробудник – ковзний штамп»

Амплітуда коливань у середовищі усереднена за об'ємом бункера:

$$z_0 = \frac{A(e^{aA_x a} - e^{-aA_x a})(1 - e^{-aA_z H})}{4abHa^3 \cos d \sin(90^\circ - d)} \quad (5)$$

Ефективне прискорення, що діє на частинку в масиві бетонної суміші, яка знаходиться в бункері під дією вібрації:

$$\begin{aligned} q_{ef} &= q + \frac{1}{2} w^2 \cos d - h_{ef} w \times a (D + Dr) K_n \times \frac{(\cos d + k \sin(90^\circ - d))}{Dm} - \\ &- \frac{f}{m} \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_e} qkDr + \frac{1}{2} r u \sin(90^\circ - d) w \times a \times K_n \frac{\dot{\alpha}}{\dot{\epsilon}} + \frac{C}{fmqk} - \frac{\alpha \cos d}{\dot{\epsilon}} + \sin(90^\circ - d) \frac{\ddot{\alpha}}{\dot{\epsilon}} - e^{-a(\dot{\gamma}_t(D+Dr))} \frac{\dot{\alpha}}{\dot{\epsilon}} \quad (6) \end{aligned}$$

Вираз для визначення швидкості витікання суміші з бункера

$$u_s = \sqrt{\frac{q_{ef} R_2}{2tg(90-d)}} \times h \frac{\dot{e}}{\ddot{e}} \sqrt{\frac{2tg(90-d)}{r_2}} \times \frac{\dot{u}}{\ddot{u}} \quad (7)$$

Формула для визначення витрати суміші

$$Q = S_{s.o.} \sqrt{\frac{q_{ef} \times R_2}{2tg(90-d)}} \times h \frac{\dot{e}}{\ddot{e}} \sqrt{\frac{2tg(90-d) q_{ef}}{R_2}} \times \frac{\dot{u}}{\ddot{u}} \quad (8)$$

Виходячи з цього, визначальними факторами для отримання характеристик процесу витікання для цього гідравлічного радіуса бункера є кут поляризації коливань по відношенню до вертикалі та ефективне значення прискорення частинок суміші, величина якого розрахована залежно від густини суміші, її в'язкості, ефективного коефіцієнта тертя.

Для визначення амплітуди коливань віброштампа використано хвильове рівняння коливань пружного стрижня:

$$\frac{\nabla^2 U}{\nabla x^2} = \frac{1}{c^2(1+ig)} \times \frac{\nabla^2 U}{\nabla t^2}, \quad (9)$$

де  $t$  – плинний час;  $F_{zm} \cos t$  – вертикальна складова змушуючої сили, яка має комплексний вигляд  $Fe^{i\omega t}$ ;  $U$  – поздовжнє переміщення цього шару бетонної суміші при коливаннях; це переміщення залежить від місцезнаходження шару (координати  $X$ ) і від часу  $t$ .

Отже,  $U=U(x,t)$  – функція двох змінних; її визначення становить основну задачу.

Рівняння (9) знайдено в такому вигляді:

$$U(x,t) = \frac{\dot{e}}{\ddot{e}} A e^{x(a+ib)} + B e^{-x(a+ib)} \dot{u} e^{i\omega t}, \quad (10)$$

де  $A, B$  – постійні інтегрування, які визначаються із граничних умов;  $a$  і  $b$  – невідомі величини, які визначають при підстановці (10) в (9).

Для визначення  $a$  і  $b$  знайдемо значення похідних другого порядку:

$$\begin{aligned} \frac{\nabla^2 U}{\nabla x^2} &= (a+ib)^2 \times \frac{\dot{e}}{\ddot{e}} A e^{x(a+ib)} + B e^{-x(a+ib)} \dot{u} \\ \frac{\nabla^2 U}{\nabla t^2} &= -\omega^2 \frac{\dot{e}}{\ddot{e}} A e^{x(a+ib)} + B e^{-x(a+ib)} \dot{u} \end{aligned} \quad (11)$$

Після деяких перетворень знаходимо невідомі величини:

$$a = \eta \frac{\omega}{c}, \quad b = n \frac{\omega}{c}. \quad (12)$$

Для розв'язання (9) визначимо граничні умови, враховуючи піддон форми абсолютно жорсткою границею:  $x=h, U_{x=h}=0$ .

Тоді із (9) отримуємо перше рівняння для визначення коефіцієнтів  $A$  і  $B$

$$A = -B \frac{e^{-2h(a+ib)}}{e^{2h(a+ib)}} = -B e^{-2h(a+ib)}. \quad (13)$$

При  $x=0$

$$U_{x=0} = A_0 = (A+B)e^{i\omega t}. \quad (14)$$

Друге рівняння для визначення коефіцієнтів  $A$  і  $B$  отримаємо, розглядаючи умови динамічної рівноваги маси  $M$ :

$$M \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \Big|_{x=0} = F_{зм} e^{i\omega t} + ES(1+ig) \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{x=0} + k(z-U), \quad (15)$$

де  $E$  – модуль пружності віброуючої бетонної суміші.

Коефіцієнти  $A$  і  $B$ :

$$A = - \frac{F_{зм} e^{-2h(a+ib)}}{M\omega^2 (e^{-2h(a+ib)} - 1) + ES(e^{-2h(a+ib)} + 1)(1+ig)(a+ib) - C(e^{-2h(a+ib)} - 1)}, \quad (16)$$

$$B = - \frac{F_{зм}}{M\omega^2 (e^{-2h(a+ib)} - 1) + ES(e^{-2h(a+ib)} + 1)(1+ig)(a+ib) - C(e^{-2h(a+ib)} - 1)}. \quad (17)$$

Вираз для визначення амплітуди зміщення в шарі бетонної суміші в найбільш загальному вигляді

$$U(x) = \frac{F_{зм} \frac{\hat{e} e^{x(a+ib)} \times e^{-2h(a+ib)} \times e^{-x(a+ib)} \dot{u}}{\hat{e}}}{e^{-2h(a+ib)} - 1} \frac{\dot{u}}{\dot{u}} e^{i\omega t} - M\omega^2 + \frac{m\omega^2}{h} \times \frac{(e^{-2h(a+ib)} + 1)}{(a+ib)(e^{-2h(a+ib)} - 1)} + C. \quad (18)$$

Зробивши деякі перетворення, запишемо модуль цього виразу

$$U_x = \frac{F_{зм} \cos f}{|C - M\omega^2|} \times \frac{(a^2 + b^2)d}{\sqrt{\hat{e} \hat{a} + \frac{m\omega^2}{|C - M\omega^2|} \hat{u}^2 + b^2}}. \quad (19)$$

Вираз, який дозволить розраховувати амплітуду коливань робочого органа масою  $M$  двухмасного вібратора,

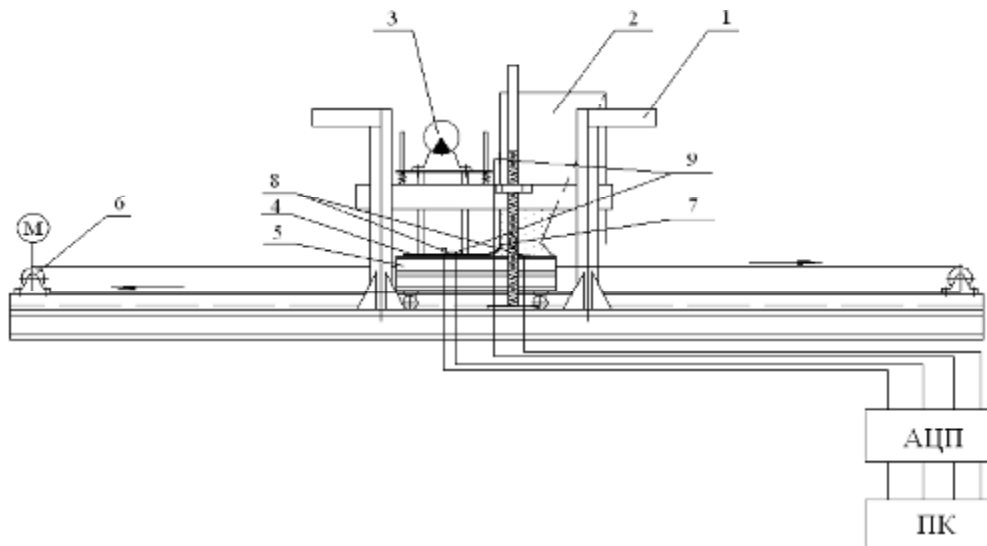
$$A_1 = A_0 h \sqrt{\frac{(a^2 + b^2)d}{\hat{e} \hat{a} + \frac{m\omega^2}{|C - M\omega^2|} \hat{u}^2 + b^2}}. \quad (20)$$

Таким чином, отримана аналітична залежність амплітуди коливань поверхневого вібратора від динамічних параметрів бетонної суміші. Вона дозволить установити закономірності руху робочого органа БФА за різних умов формування бетонних виробів.

Для підтвердження отриманих залежностей розроблено експериментальну установку (рис. 2).



а)



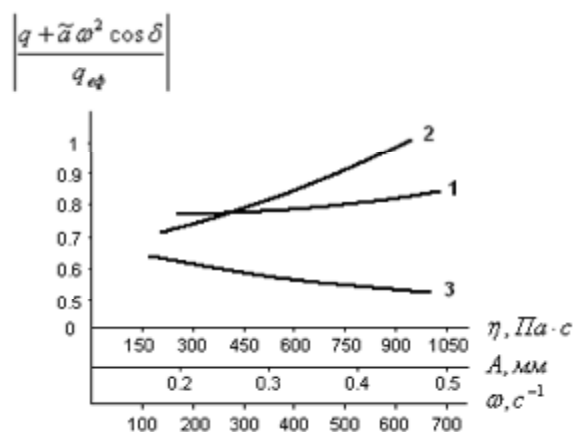
б)

**Рис. 2. Експериментальна установка: а) загальний вигляд; б) схема експериментальної установки з розташуванням вимірювальної апаратури: 1 – портал; 2 – бункер; 3 – вібратор ИВ-101Б; 4 – вібролижа; 5 – форма-візок; 6 – барабан; 7 – прокладка; 8 – датчики тиску; 9 – датчики вібрації**

**Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.**

Проведений порівняльний аналіз теоретичних експериментальних досліджень дав змогу дослідити вплив параметрів вібраційного впливу  $A, \omega$  і в'язкості бетонної суміші  $h$  на відносне прискорення сили, яке діє на частинку в полі плоскої хвилі, знаходимо із графіка, що зображений на рисунку 3. Із аналізу даних залежностей (крива 1, 2 з рис. 3) отримаємо зростання відносного прискорення за сталою амплітудою чи частотою

коливань. При цьому залежність від амплітуди проявляється меншою мірою. Це пояснюється тим, що за збільшення амплітуди чи частоти сили внутрішнього тертя в масиві бетонної суміші зменшуються і тому відбувається зниження опору руху, що призводить до збільшення прискорення частинки. Разом з тим видно, що за збільшення в'язкості бетонної суміші в межах  $\eta=200\dots800 \text{ Па}\cdot\text{с}$  (крива 3 рис. 3) – відносне прискорення спадає, тобто відбувається вповільнення частинки в масиві бетонної суміші. В'язкість визначалася за результатами аналізу роботи [3].

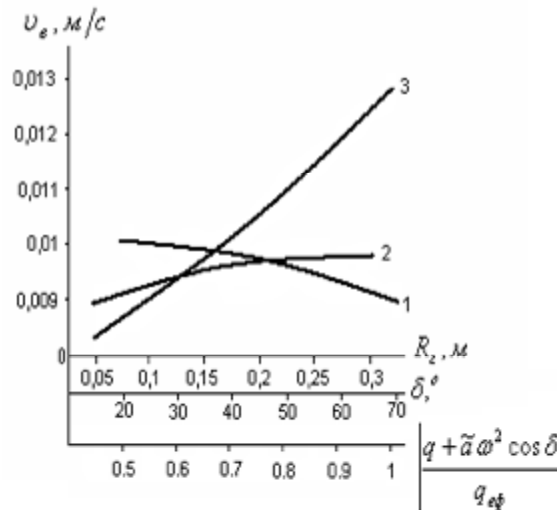


**Рис. 3. Графік залежності відносного прискорення від: 1 – амплітуди коливань вібратора; 2 – частоти коливань вібратора; 3 – в'язкості бетонної суміші**

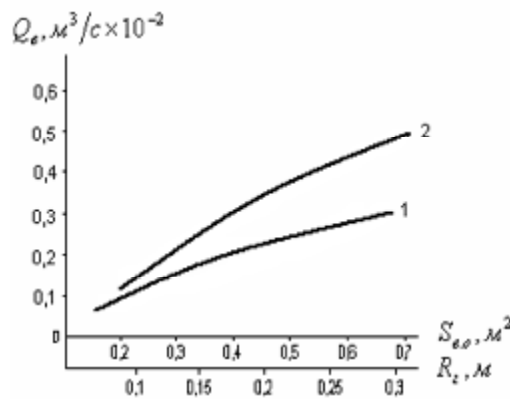
На рисунку 4 побудовано графік залежності швидкості витікання від гідравлічного радіуса  $R_2$ , кута поляризації  $d$ , а також від впливу відносного прискорення частинки. Аналіз показує, що за збільшення гідравлічного радіуса і прискорення частинки буде більшою швидкість витікання бетонної суміші з бункера. Але за збільшення кута нахилу стінок бункера від вертикалі швидкість витікання зменшується завдяки збільшенню опору.

Для визначення залежності зміни витрати суміші від геометрії бункера необхідно проаналізувати графік, що зображений на рисунку 5. Графік дає змогу зрозуміти, що при збільшенні розмірів вихідного отвору бункера витрати суттєво збільшуються.

Розроблення методів розрахунку й конструктивних рішень для забезпечення надійної роботи БФА дозволить суттєво підвищити технічний і технологічний рівень виробництва залізобетонних виробів при узгодженні роботи механізмів та дасть можливість провести повну автоматизацію процесу.



**Рис. 4.** Графік залежності швидкості витікання від: 1 – кута поляризації; 2 – гідравлічного радіуса бункера; 3 – ефективного прискорення



**Рис. 5.** Графік залежності витрати бетонної суміші від: 1 – гідравлічного радіуса бункера; 2 – площі вихідного отвору бункера

#### Література

1. Ли В.А. Обзорная информация. Зарубежное оборудование для непрерывного формирования железобетонных конструкций. – Москва, 1978.–С. 55.
2. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуєчі агрегати і комплекси. – К.: Будівельник, 1991. –С. 145.
3. Руденко И.Ф. Формование изделий поверхностными виброустройствами. – Москва, 1972. –С. 104.
4. Гарнець В.М., Шаленко В.О. Визначення сил опору при роботі поверхневих віброуцільнювачів// Журнал „Техніка будівництва” – Вип. 14. – Київ, 2004. – С.55-59.
5. Гарнець В.М. Дослідження процесу витікання бетонної суміші, представленої корпускулярно-хвильовою моделлю: Зб. ГБДММ – №67 –С.34-36.

6. Гячев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах. – М.: Машиностроение, 1968. –С.184.

7. Гириштель Г.Б. О физической природе вибрационного воздействия на уплотнения смеси: Сб. Технология бетона и железобетонных конструкций. НИИСК Госстроя УССР. – К.: Будівельник, 1972. –С.142-148.

Надійшла до редакції 20.11.2012

© В. М. Гарнець, В. О. Шаленко

**УДК 622.647.4**

*В. М. Гарнец, к.т.н., проф.,*

*В. О. Шаленко, ассистент*

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БЕТОНОФОРМОВОЧНЫХ АГРЕГАТОВ**

*В статье рассматриваются научно-практические проблемы, связанные с дальнейшим совершенствованием конструктивных решений и инженерных расчетных методик для создания современных бетоноформовочных агрегатов.*

**Ключевые слова:** *железобетон, вибрация, формирование, уплотнение, среда, амплитуда.*

**UDC 622.647.4**

*V.N.Garnets, Ph. D., Professor,*

*V.O.Shalenko, Assistant*

*Kyiv National University of Construction and Architecture*

## **IMPROVING PERFORMANCE BETONOFORMUYUCHYH UNITS**

*The article considers scientific and practical problems associated with the further improvement of constructive solutions and engineering of calculation methods for creating modern units Concrete Products.*

**Keywords:** *concrete vibration, forming, sealing, medium, amplitude.*