



УДК 622.647.4

В.М. Гарнець, к.т.н., проф. (КНУБА, Київ),
О.О. Булавка, аспірант (КНУБА, Київ)

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ НА ПЕРЕМІЩЕННЯ БФА ПОВЕРХНЕВОЇ ДІЇ

Вступ. В виробництві збірного залізобетону вібраційні формувальні процеси і їх технічний рівень передбачає ефективність виробництва і якість продукції. Накопичений обширний досвід динаміки поверхневого ущільнення бетонної суміші бетоноформуючими агрегатами (БФА) безперервної дії в роботах [1, 2, 3] та ін. Однак, аналізуючи операції процесу виготовлення залізобетонних виробів (ЗБВ) і конструкцій робочими органами таких вібраційних машин видно, що теорія вібраційного процесу ущільнення бетонної суміші недостатньо вивчена.

Мета і постановка задачі. Метою даної задачі є визначення потужності на переміщення БФА поверхневої дії з урахуванням горизонтальних складових всіх діючих в системі сил, які взаємодіють на всіх етапах обробки бетонної суміші, що дасть змогу підвищити технологічну, експлуатаційну та енергетичну ефективність агрегату в цілому.

Як відомо, специфіка БФА така, що всі операції технологічного процесу формування виробу (доставка і укладання суміші до форми, її розподіл, попереднє і остаточне ущільнення, формоутворення, заглажування лицьової поверхні) виконується безперервним переміщенням машини з виконавчим робочим органом відносно нерухомої основи, на якій розташовані форми або відформований виріб потрібного перерізу. Під час формування ЗБВ і конструкцій всі ці операції створюють опори при переміщенні БФА в цілому. Тому для вирішення даної задачі потрібно спочатку враховувати горизонтальні і вертикальні складові, які сприяють одночасно процесу витікання і ущільнення бетонної суміші.

Як згадувалося раніше [4], умови роботи вібраційних БФА поверхневої дії можливо суттєво покращити за рахунок створення раціональної конструкції механізму віброущільнення з одночасною передачею вібраційного впливу на суміш, що знаходиться в бункері та у формі при використанні частини енергії вібробуджувача для поступального руху агрегату.

Для цього складемо спрощену розрахункову схему робочого органу БФА, яка зображена на рис.1.

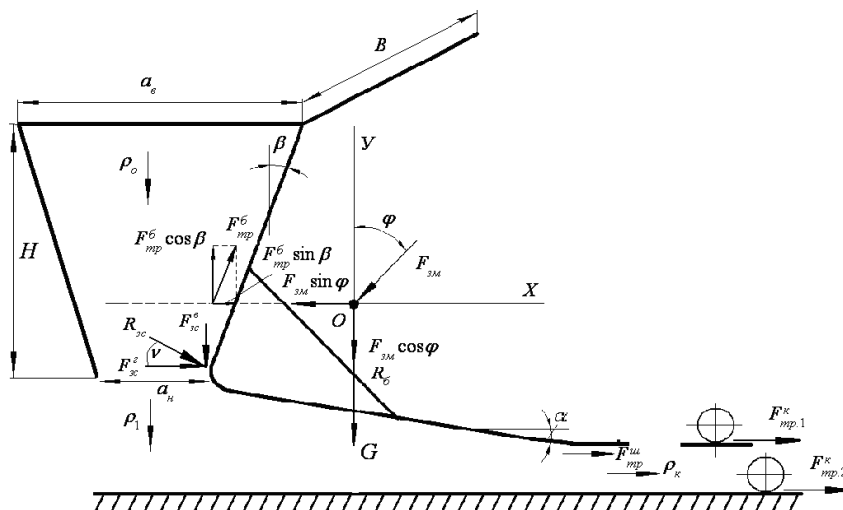


Рисунок 1. Розрахункова схема робочого органу БФА поверхневої дії.

F_{3M} - змушуюча сила віброзбудника; F_m - тягове зусилля приводу руху БФА; $F_{3M} \sin \varphi$, $F_{3M} \cos \varphi$ - відповідно, горизонтальна та вертикальна складові змушуючої сили; F_{mp}^{δ} - сила тертя шарів бетонної суміші із стінками бункера; $F_{mp}^{\delta} \sin \beta$, $F_{mp}^{\delta} \cos \beta$ - відповідно, горизонтальна і вертикальна складові сили F_{mp}^{δ} ; F_{mp}^u - сила тертя між ковзним штампом і шаром суміші у формі; $F_{mp.1}$, $F_{mp.2}$ - сили тертя кочення коліс робочого органу і БФА при їх поступальному русі; F_{3c} - сила опору зсуву бетонної суміші; F_{3c}^z , F_{3c}^e - відповідно горизонтальна і вертикальна складові сили зсуву.

Аналізуючи схему робочого органу, для обґрунтування вищесказаного складемо диференціальне рівняння, яке характеризує динаміку віброущільнювача при його роботі на бетонній основі.

Вихідне рівняння, яке визначає рух ущільнювача по горизонталі:

$$M\dot{x} = F_{3M} \sin \varphi + F_m - f(G + \mu S + F_{3M} \cos \varphi + F_{3c} + F_{mp}), \quad (1)$$

де M - маса вібраційної машини з бетонною сумішшю; φ - поточний кут нахилу віброзбуджувача; F_{3M} - змушуюча сила; F_m - сила тяги приводу двигуна; F_{3c} - сила зсуву бетонної суміші з бункера; F_{mp} - сила тертя бетонної суміші зі сталлю; S - площа днища форми; G - вага вібраційної машини; μ - коефіцієнт присипання; f - коефіцієнт тертя.

Інтегруючи рівняння (1) можна знайти зміну швидкості формування виробу з початковими умовами $t = t_1$, $\omega t_1 = \varphi$, які відповідають моменту початку руху, після перетворення отримуємо:

$$\begin{aligned} v_{\varphi} &= \frac{1}{M} \int_{\varphi_1}^{\varphi} (F_{3M} \sin \varphi + F_m - fg - fF_{3M} \cos \varphi - fF_{3c} - fF_{mp}) d\varphi = \\ &= \frac{1}{M\omega} [-\cos(\varphi - \xi) + fF_{3M} \sin(\varphi - \xi) - C_x(\varphi_1 - \varphi)] \end{aligned} \quad (2)$$

де $C_x = F_m - f(g + \mu S + F_{3c} + F_{mp})$ - постійна величина; g - прискорення сили тяжіння; ξ - кут тертя ковзання; φ_1 - кут повертання дебаланса, який відповідає моменту віброзбуджувача.

При повторному інтегруванні, отримуємо рівняння шляху:

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{M\omega} \int_{\varphi_1}^{\varphi} [\cos(\varphi - \xi) - fF_{3M} \sin(\varphi - \xi) - C_x(\varphi_1 - \varphi)] d\varphi = \\ &= \frac{1}{M\omega^2} \left[-fF \cos(\varphi_1 - \xi)(\varphi_2 - \xi) - \frac{C_x}{2}(\varphi_2 - \varphi_1)^2 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

де φ_2 - кут, який відповідає моменту зміни напрямлення руху по горизонталі (при $\dot{x} = 0$).

Після рішення рівняння (1) знаходимо всі діючі сили сили та їх складові, які взаємодіють на всіх стадіях операції ущільнення бетонної суміші.

Для сприяння пересуванню БФА, потрібно записати умову, яка призведе до рівномірного руху агрегату, що дозволить формування якісних бетонних виробів.

Отже, для сприяння переміщенню БФА є дотримання умови:

$$F_{3M}^z + F_m \geq W_o, \quad (4)$$

де F_{3M}^z - горизонтальна складові змушуючої сили; W_o - сумарні сили опору переміщенню БФА.

Вираз для визначення горизонтальної складові змушуючої сили:

$$F_{3M}^z = F_{3M} \sin \varphi. \quad (5)$$

Загальний опір руху бетоноукладача:



$$W_o = F_{3c} + F_{mp} + F_{mp,k} \quad (6)$$

Отже, записавши загальний вираз по знаходженню руху бетоноукладача, тепер визначаємо його складові.

При транспортуванні бетонної суміші бункером БФА виникає опір зсуву суміші з місця:

$$F_{3c} = k \cdot a_g \cdot h, \quad (7)$$

де k - питомий опір лобовому зсуву; a_g - ширина бункера на вході; h - висота бетонної суміші в бункері.

Горизонтальна складова результуючої сили зсуву бетонної суміші бункером:

$$F_{3c}^2 = k \cdot a_g \cdot h \cdot \cos \nu, \quad (8)$$

де ν - кут прикладання сили зсуву до бункера.

Загальний опір коченню бетоноукладача [5]:

$$F_{mp,k} = G \left(\frac{2f_{mp,k}}{D} + \mu_1 \frac{d}{D} \right) \zeta, \quad (9)$$

де $f_{mp,k}$ - коефіцієнт тертя кочення ходових коліс; D - діаметр ходового колеса бетоноукладача; d - діаметр цапф коліс; μ_1 - зведений коефіцієнт тертя у цапфах коліс; ζ - коефіцієнт, що враховує тертя реборд коліс об рельси.

Загальна сила опору тертя бетонної суміші об сталь складається із двох складових: горизонтальної складової сили тертя бетону в бункері та сили опору бетонної суміші зі сталлю, що бере участь у коливаннях, отже:

$$F_{mp} = F_{mp}^u + F_{mp}^b \quad (10)$$

Підставивши значення складових і зробивши декілька перетворень, запишемо вираз для визначення сили тертя бетонної суміші:

$$F_{mp} = [F_{3m} + (m_{\beta,\beta} \sin \beta + m_{\beta,u} \sin \xi)g]f, \quad (11)$$

де $m_{\beta,\beta}$ - маса бетонної суміші в бункері; $m_{\beta,u}$ - маса бетонної суміші, що знаходиться під штампом.

Для визначення величини тягового зусилля на переміщення робочого органу вздовж формуючого виробу треба враховувати всі сили в горизонтальній площині, тобто:

$$F_m = W_o - F_{3m}^2 \quad (12)$$

Отже, підставивши всі значення опорів в вираз (11) та зробивши декілька перетворень і врахувавши маси системи маємо:

$$F_m = fG \left(\frac{f_{mp,k} + \mu_1 d}{D} \right) \zeta + [F_{3m} + (m_{\beta,\beta} \sin \beta + m_{\beta,u} \sin \xi)g]f + k a_g h \cos \nu - F_{3m} \sin \varphi. \quad (13)$$

Знаючи величину тягового зусилля вібраційної машини, яке необхідне при формуванні бетонної суміші та швидкість формування, можливо визначити потужність на переміщення БФА в цілому:

$$N_n = F_m \cdot v_\phi \quad (15)$$

В результаті теоретичних досліджень виразу (2), побудовано графік залежності швидкості формування від висоти виробу $v_\phi = f(h_g)$ (рис. 2).

Як показав аналіз даного графіку видно, що чим більша висота бетонної суміші, яка ущільнюється, тим менша швидкість формування, яка призводить до збільшення витрат енергії на пересування агрегату в цілому.

Для того, щоб подивитись на величину витрат потужності на переміщення, був побудований графік залежності потужності від швидкості формування $N_n = f(v_\phi)$ (рис. 3).

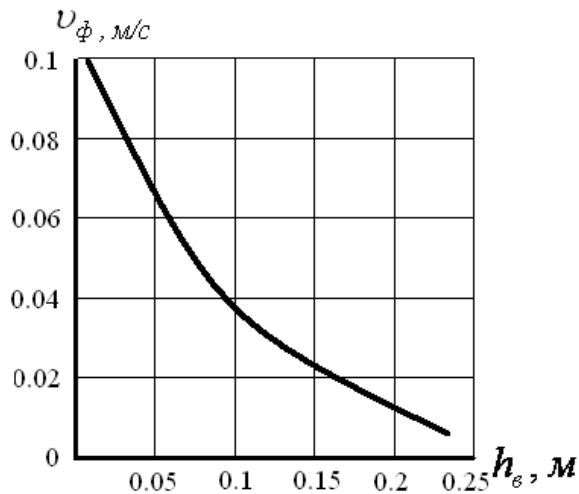
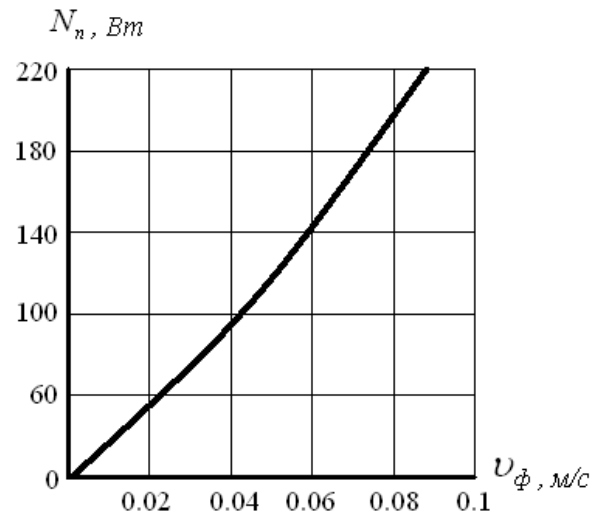
Рисунок 2. Графік залежності v_ϕ від h_e .

Рисунок 3. Графік залежності потужності на переміщення від швидкості формування.

Аналізуючи графік, можна сказати, що збільшуються втрати потужності на переміщення БФА при збільшенні швидкості формування бетонної суміші.

Висновки

1. При вирішенні поставленої задачі знайдені величини (2), (15) за допомогою яких, можна уточнити методику розрахунку робочих органів БФА поверхневої дії.
2. В подальших дослідженнях, необхідно узгодити механізми витікання та ущільнення бетонної суміші і відповідності з v_e .

Література

1. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуєчі агрегати і комплекси. – К.: Будівельник, 1991р. – с. – 145.
2. Судаков И.И. Поверхностное уплотнение бетона/ ВНИИСТРОЙДОРМАШ. труды института 50. – М.: 1971. – 91-97с.
3. Чубук Ю.Ф., Назаренко И.И., Гарнец В.Н. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей. - “Вища школа”, 1985г. – с. – 167.
4. Гарнець В.М., Булавка О.О. Режимно-параметричний аналіз роботи механізмів бетоноформуєчих агрегатів/ Зб. наук. пр. №23. – П.: 2009. – 115-122с.
5. Назаренко І.І. Машины для виробництва будівельних матеріалів. – К.: 1999р. – 485с.