

УДК 666.40.9

В.М. Гарнець, канд. техн. наук, проф. КНУБА,

В.О. Шаленко, інженер КНУБА

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ ОПОРУ ПРИ РОБОТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВІБРОУЩІЛЬНЮВАЧІВ

В промисловому, цивільному і житловому будівництві, при виробництві збірних і монолітних залізобетонних конструкцій широко застосовують віброущільнювальні механізми поверхневої дії. За функціональним призначенням і конструктивним виконанням поверхневі віброущільнювачі виконуються переставними і ковзними.

Переставні віброущільнювачі є, як правило, важкими конструкціями, які використовують для ущільнення ґрунтів, насипних будівельних матеріалів і т. ін. Ковзні віброущільнювачі використовують як автономні механізми, або у складі комплексних робочих органів бетоноформувань агрегатів. Як автономні механізми ковзні віброущільнювачі є порівняно легкими конструкціями, які переміщуються робочим - оператором. Прикладом таких конструкцій є невеликі саморухомі плити фірм АВG, Дупарас, Ammann, які використовуються для ущільнення покриттів, при укладанні фігурних елементів мощення і т. ін. Особливою групою ковзних віброущільнювачів є навісні механізми, які входять складовою частиною до комплексних робочих органів. Ці механізми, через своє функціональне призначення, мають ускладнену конструкцію в порівнянні із звичайними ковзними або переставними. Таке ускладнення пов'язане з тим, що в робочих органах перед ковзним віброущільнювачем розташовується бункер з розподільним пристроєм або з механізмом спонукання суміші до витікання. За ковзним ущільнювачем розташовуються механізми завершальної обробки поверхневого шару. Окремі елементи механізмів робочого органу можуть бути спільними. В зв'язку з цим виникає необхідність перегляду методів розрахунку основних параметрів ковзних віброштампів і визначення режимів їх роботи.

При визначенні енергетичних втрат переставних вібромашин враховуються в основному вертикальні складові сил опору ущільненню суміші [1, 4, 5, 6]. В розрахунках параметрів ковзних пристроїв передбачено частку змушуючої сили використовувати для самопереміщення пристрою. При цьому виникає горизонтальна складова сил опору, яку необхідно враховувати при визначенні загальних втрат енергії.

Для підвісних ковзних віброущільнювачів, суміщених з бункером розроблені на цей час інженерні розрахункові методики [1, 4, 5, 6] потребують суттєвого удосконалення за рахунок врахування повного комплексу діючих сил опору.

Метою статті є розробка аналітичної розрахункової моделі поверхневого ковзного віброущільнювача в умовах взаємодії з шаром бетонної суміші.

Загальна розрахункова схема поверхневого ковзного віброущільнювача наведена на рис.1. В цій схемі двомасовий віброущільнювач 1, підвішується на рамі бетоноформувань агрегату 2. Віброущільнювач об'єднаний з розподільним бункером 3 і має загальну стінку, яка розташована під кутом α_1 до вертикалі. Віброзбуджувач 4 створює направлені коливання і встановлений під кутом α до вертикалі. Нижня частина віброзбуджувача є профільною з похилою (під кутом β) і горизонтальною ділянками.

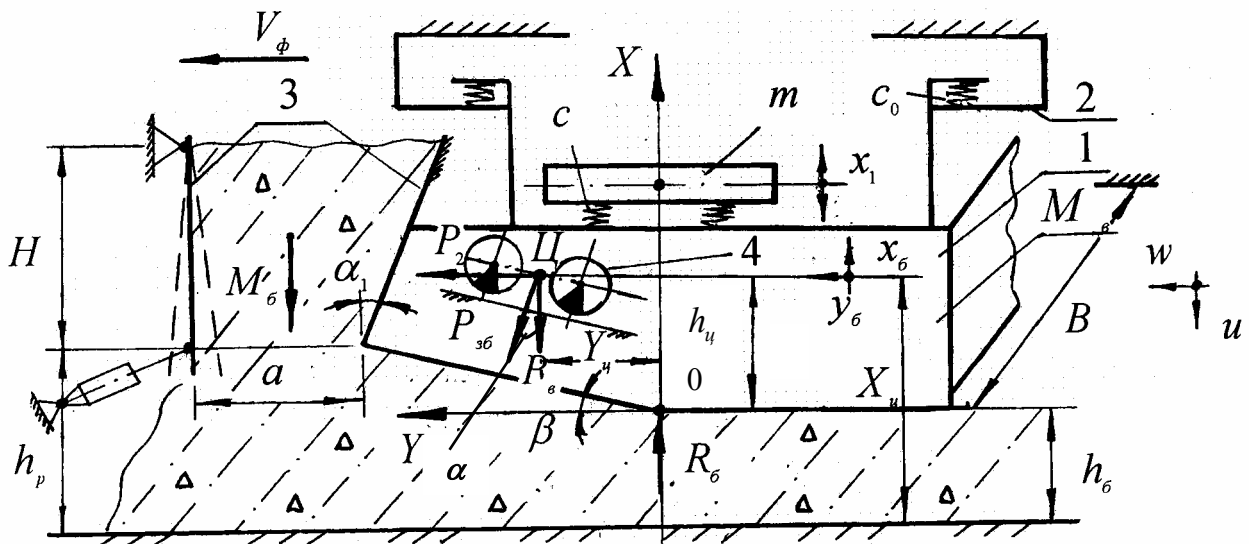


Рис. 1. Розрахункова схема поверхневого віброущільнювача.

На схемі прийнято такі позначення:

V_ϕ – швидкість формування; M_0 – сумарна маса металоконструкції віброущільнювача з віброзбуджувачем і бункером; M_{01} , M_{02} – відповідно, маса бетонної суміші в бункері і під ковзним віброштампом; m – привантажувальна реактивна маса двомасового віброзбуджувача, яка встановлюється на нижній масі через пружини жорсткістю c ; c_0 – жорсткість віброізолюючих пружин підвіски металоконструкції віброущільнювача; a – регульована ширина вихідного отвору бункера; h_0 – висота виробу, що формується; h_p – висота рихлого шару суміші; P_{30} – збуджуюча сила вібратора; точка Ц – центр мас системи; B – ширина виробу, що формується; h_y – висота від контактної зони до центра мас; X_y і Y_y – координати центра мас системи.

Оскільки в процесі формування робочі характеристики змінюються (рівень і щільність суміші в бункері по висоті, щільність суміші по довжині ковзного віброштампу і т. п.) в роботі приймаються такі спрощення:

- коливальний рух всієї металоконструкції приймається однорідним;
- ефективність впливу коливань на суміш в бункері оцінюється по їх інтенсивності [3] в середній площині бункера; при цьому вся маса суміші в бункері сприймає коливання;
- оскільки суміш попередньо піддається віброобробці в бункері, приймається її густина під ковзним штампом сталою;
- система розглядається як дискретно-континуальна, де металоконструкція є дискретною масою, а шар суміші під штампом – система з розподіленими параметрами;
- змушуюча сила прикладена в центрі мас системи – Ц з координатами X_y і Y_y , тобто рух віброштампа – поступальний і обертання навколо центра мас відсутнє; координати центра мас X_y і Y_y , визначаються згідно з законами статички для мас M_0 ; M_0 і m ;
- при складанні рівнянь руху системи величиною нахилу профілю штампу до горизонту нехтуємо;
- для визначення поступального руху вважаємо коливання безвідривним.

Припустимо, що u і w – відповідно, поточні значення зміщення в вертикальному і горизонтальному напрямку; x_{σ} , y_{σ} – амплітуди зміщення робочого органу в вертикальному і горизонтальному напрямку; припускаючи коливання безвіддривними x_{σ} і y_{σ} є по суті амплітудою коливань поверхневого шару; S – площа проекції робочого органу на горизонталь; S_1 – площа стінки бункера, яка є спільною з ковзною вібролижею; x і y – поточні координати перетину шарів суміші, відповідно, в горизонтальній і вертикальній площині; $\sigma(h, t)$ – напруга в шарі суміші з координатою $x = h$, тобто в контактній зоні; $\sigma(h_p, t)$ – напруга, що виникає від шарів суміші в бункері висотою H в площі перетину вихідного отвору a ; $\sigma(0, t)$ – напруга на межі піддону форми при $x = h_{\sigma} = 0$.

Реакція бетонної суміші

$$R_{\sigma}(h, t) = \sigma(h_{\sigma}, t) \cdot S. \quad (1)$$

Рівняння рівноваги проекцій сил на вертикальну вісь запишуться у вигляді:

для маси M_{σ}

$$M_{\sigma} \cdot \ddot{x}_{\sigma}|_{x=h} + R_{\sigma} + C_0 \cdot x_{\sigma} + C \cdot (x_{\sigma} - x_1) = P_{3\sigma} \cdot e^{i\omega t} \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

де ω – частота вимушених коливань;

для маси m

$$m \cdot \ddot{x}_1 - C \cdot (x_{\sigma} - x_1) = 0. \quad (3)$$

Умови рівноваги діючих сил на горизонтальну вісь

$$M_{\sigma} \cdot \ddot{y}_{\sigma}|_{x=h} - R_{\sigma} \cdot f - \rho \cdot g \cdot H \cdot f_{вн} \cdot S_{\sigma} = P_{3\sigma} \cdot e^{i\omega t} \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

де f і $f_{вн}$ – відповідно коефіцієнти зовнішнього по поверхні суміші і внутрішнього тертя; $S_{\sigma} = B \cdot a$, – площа вихідного отвору бункера.

Умови безвіддривних коливань для поверхневих вібротомашин визначаються співвідношенням вертикальної динамічної складової змушуючої сили, сили ваги підвищеної металоконструкції робочого органу – M_{σ} , реакції пружних елементів і сил зчеплення в контактній зоні $F_{зч}$, а також реакції шару суміші.

Приймаючи напрям P_{σ} направленим вертикально вгору, запишемо

$$\frac{M_{\sigma} \cdot g + C \cdot x_1 + F_{зч}}{|R_{\sigma}| + P_{\sigma} \cdot e^{i\omega t} \cdot \cos \gamma + C_0 \cdot x_{\sigma}} \geq 1. \quad (5)$$

Приймаючи деформацію по вертикалі шару суміші досить малою і її залежність від діючої напруги лінійною і такою, що відповідає закону Гука, можливо для визначення реакції шару бетонної суміші з урахуванням втрат енергії скористатись хвильовим рівнянням у вигляді [1, 2, 7]

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c_B^2 \cdot (1 + i \cdot \gamma)} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (6)$$

де $u = u(x, t)$ – поточне значення зміщення по вертикалі при коливаннях; $\frac{\partial u}{\partial x} = \varepsilon$ –

деформація шару; $c_B = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ – швидкість розповсюдження пружних хвиль в шарі суміші

густиною ρ , який має модуль пружності E ; $\gamma = \frac{\Delta W}{W}$ – коефіцієнт втрат енергії, величина якого відображає відношення енергії, яка поглинена елементарним шаром за період коливань ΔW до всієї потенціальної енергії деформування цього шару.



Приймаючи безвідривний характер коливань, граничні умови по амплітуді коливань запишуться у вигляді

$$u|_{x=0}(0, t) = x_0 \cdot e^{i\omega t}; \quad (7)$$

$$u|_{x=h}(h, t) = 0. \quad (8)$$

Тобто, амплітуда вертикальних коливань вібролижі дорівнює амплітуді прилеглого шару суміші, а шар, який є прилеглим до піддону не коливається.

Зв'язок між напругою і деформацією згідно з [1, 2, 7] приймаємо у вигляді

$$\sigma = -E \cdot \varepsilon(1 + i \cdot \gamma), \quad (9)$$

де $E\varepsilon$ і $\gamma E\varepsilon$ – відповідно, пружна і дисипативна складові; γ – коефіцієнт розсіювання енергії.

Оскільки в схемі, що розглядається, очевидно, існує відбиття хвиль від меж розділу, то для рішення використовується метод Фур'є, згідно якому рівняння може розглядатися як комплексна хвильова функція

$$u(x, t) = (u_1 \cdot e^{x(\alpha+i\beta)} + u_2 \cdot e^{-x(\alpha+i\beta)}) e^{i\omega t}, \quad (10)$$

де u_1 і u_2 – сталі інтегрування; $k = (\alpha + i\beta)$ – комплексне хвильове число.

Після підстановки рішення (10) до рівняння (6) отримані вирази для коефіцієнтів α і β які визначають відповідно, затухання і довжину хвилі в бетонній суміші

$$\alpha = \frac{\omega}{C_B} \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2}-1}{2(1+\gamma^2)}}; \quad (11)$$

$$\beta = \frac{\omega}{C_B} \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2}+1}{2(1+\gamma^2)}}. \quad (12)$$

Підкореневі вирази аналітично враховують явища розсіювання енергії в бетонній суміші. З урахуванням (8) і (10) для стаціонарних вимушених коливань отримуємо перше рівняння для визначення коефіцієнтів u_1 і u_2 при $x = h_0$

$$u_1 = -u_2 \cdot e^{-2h(\alpha+i\beta)}. \quad (13)$$

$$\text{При } x = 0 \quad u|_{x=0} = (u_1 + u_2) \cdot e^{i\omega t}. \quad (14)$$

Друге рівняння для визначення коефіцієнтів u_1 і u_2 отримаємо, розглядаючи умови рівноваги маси M_ε , з яких після перетворень отримуємо

$$-M_\varepsilon \cdot \omega^2(u_1 + u_2) - E \cdot S(1 + i \cdot \gamma)(\alpha + i \cdot \beta)(u_1 - u_2) + D(u_1 + u_2) = P_{зб} \cdot e^{i\omega t}, \quad (15)$$

$$\text{де } D = \frac{-c \cdot \omega^2}{\omega_c^2 - \omega^2}; \quad \omega^2 = \frac{c}{m}. \quad (16)$$

З використанням (13), (14) і (15) отримані вирази для u_1 і u_2 , після підстановки яких в загальне рішення (10) отримано вираз для розрахунку зміщення в будь-якому перетині шару суміші і амплітуди коливань робочого органу

$$u|_x = \frac{P_{зб}}{|D - M_\varepsilon \cdot \omega^2|} \cdot \sqrt{\frac{(a^2 + b^2)d}{\left[a + \frac{m \cdot \omega^2}{|D - M_\varepsilon \cdot \omega^2|} \right]^2 + b^2}}, \quad (17)$$

де a , b і d – коефіцієнти, які враховують вплив хвильової взаємодії в шарі суміші на величину зміщення.

Напруга в будь-якому шарі бетонної суміші

$$\sigma = \rho \cdot c^2 \cdot U \Big|_{x=0} \cdot \sqrt{(\alpha^2 + \beta^2) d \cdot d_1}, \quad (18)$$

$$\text{де } d_1 = \frac{c \cdot h \cdot 2\alpha(x-h) + \cos 2\beta(x-h)}{c \cdot h \cdot 2\alpha h} - \cos 2\beta h.$$

Висновки

Отримані вирази (17), (18) дозволяють, враховуючи весь комплекс діючих сил і сил опору в системі, розраховувати необхідну амплітуду коливань робочого органу; напруги і деформації в шарі суміші, що оброблюється, а також правильно визначити енергетичні параметри агрегату в цілому. Далі буде вирішуватись задача для отримання виразу для розрахунку амплітуди коливань в горизонтальному напрямку. В перспективі подальших розвідок планується, що правильне врахування маси, яка впливає на режим роботи, дасть можливість уточнити методику розрахунку таких машин.

Література

1. Чубук Ю.Ф., Назаренко И.И., Гарнець В.Н. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей. – К.: Вища школа, 1985.
2. Гарнець В.М. Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси. – К.: Будівельник, 1991.
3. Шмигальский В.Н. Формование изделий на виброплощадках. – М.: Стройиздат, 1968.
4. Руденко И.Ф. и др. Формование изделий поверхностными виброустройствами. М.: Стройиздат, 1972.
5. Шапиро Я.В. Технологические особенности производственного применения бетонизирующих машин со скользящим виброштампом. – Минск, 1962.
6. Аксельрод Е.З., Руденко И.Ф. Конструктивные особенности и определение рабочих параметров скользящих виброштампов// Технология виброформования железобетонных изделий. – М.: Стройиздат, 1970.
7. Гарнець В.Н. Исследование динамики поверхностных вибрационных машин при послойном формовании бетона. – Автореферат дис. канд. техн. наук. – К., 1977.