

Література

1. Сукач М.К., Филонов Ю.П., Пузаков Д.В. Характеристики процесса резания грунта в замкнутом пространстве // Гірн., буд., дор. і меліорат. машини: Всеукр. зб. наук. праць.– К.: КНУБА, 2006.– Вип.67.– С.8-11.
2. Сукач М.К., Филонов Ю.П., Пузаков Д.В. Условие образования ядра уплотнения при щелевом резании грунта // Гірн., буд., дор. і меліорат. машини: Всеукр. зб. наук. праць.– К.: КНУБА, 2006.– Вип.68.– С.8-11.
3. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами.– М.: Машиностроение, 1971.– 356 с.
4. Сукач М.К., Филонов Ю.П., Литвиненко И.Н. Модель косоугольного щелевого резания грунта широким острым ножом // Техніка будівництва.– К.: КНУБА, 2005.– Вип.18.– С.4-11.
5. Сукач М.К., Филонов Ю.П., Литвиненко И.Н. Модель перемещения грунта по ножу при вырезании щели в глубине массива // Гірн., буд., дор. і меліорат. машини: Всеукр. зб. наук. праць.– К.: КНУБА, 2005.– Вип.66.– С.4-11.

УДК 666.94

В.Й.Сівко, д-р техн. наук, професор КНУБА,
Г.М.Голенков, канд. техн. наук, професор КНУБА,
С.А. Макогон,
Є.В.Сівко,
Є.В.Грищенко

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧОГО ОРГАНУ З ГРУНТОМ ПРИ ВІБРАЦІЙНОМУ ЗАНУРЕННІ БУДІВЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Актуальність проблеми. Процес вібраційного занурення палі, шпунтів та інших будівельних елементів у ґрунт – своєрідний коливальний процес, що виникає при взаємодії стрижню з ґрунтом. Вібробуджувач, що закріплений до наголовника палі, генерує в ній повздовжні коливання, які на границі паля-ґрунт викликають поперечні коливання ґрунту. Врахування цих сил взаємодії, особливо при умові, що ґрунт володіє суттєво нелінійними характеристиками, - надто складна задача, для вирішення якої дослідники використовують різні спрощення, які базуються на експериментальних даних. В роботах [1, 2] описані моделі процесу віброзанурення при допущенні про незмінність фізико-механічних характеристик ґрунту при дії вібрації і відсутності поперечних коливань ґрунту (лінійна задача).

Моделювання та методика досліджень. В цій роботі задача взаємодії робочого органу (палі) і ґрунту вирішується в строгій постановці. На межі гострого кінця палі і ґрунту формується зона напружено-деформованого стану (НДС), характер якої визначається формою наконечника, режимом коливань палі, фізико-механічними властивостями ґрунту. Задача надто ускладнюється тим, що ґрунт у процесі роботи змінює свою щільність. Внаслідок цього змінюється не тільки зона НДС, але й реактивний опір рухові палі. Тому задача про взаємодію палі з ґрунтом повинна вирішуватись спільно: коливання палі-деформування ґрунту. Паля моделюється абсолютно твердим тілом масою m з центром в середині палі і площею опирання F . Вона здійснює коливання по закону $Q(t)$, де Q - амплітудне значення сили, що збуджується.

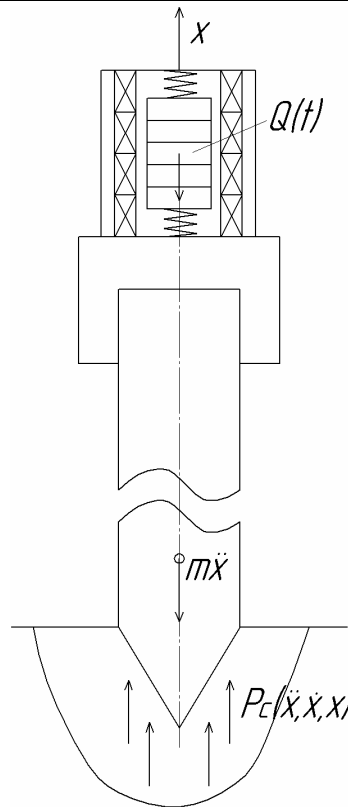


Рис. 1. Фізична постановка задачі

Опір, що виникає в ґрунті під дією коливань палі, описується системою рівнянь напружено-деформованого стану ґрунту в умовах несталої руху:

$$\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) + X = \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y}; \quad (1)$$

$$\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \sigma_y}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) + Y = \frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y}; \quad (2)$$

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = 4k^2; \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + V_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + V_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho_0 \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) = 0; \quad (4)$$

$$\frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = \frac{\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x}}{\frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{\partial V_y}{\partial y}}; \quad (5)$$

Система рівнянь (1)-(5) повинна вирішуватися при граничних

$$m\ddot{x} - P_c(\ddot{x}, \dot{x}, x) = Q(t); \quad u(H, t) = 0$$

і початкових умовах:

$$u(x, 0) = 0; \quad du(x, 0) / dt = V.$$

Тут P_c - опір ґрунту, який в загальному випадку залежить від прискорення $\ddot{x}$, швидкості $\dot{x}$ і переміщення x палі.

Рівняння (1) і (2) визначають рівняння елемента ґрунту розмірами dx на dy (рівняння динамічної рівноваги).

Рівняння (3) визначає умову невідгінного поєднання граничних значень нормального і дотичного навантажень, тобто умову руйнування структури ґрунту [3]. Роботою [4] установлена залежність, що визначає умову руйнування структури матеріалів.

Аналіз цієї залежності показав, що в області граничної рівноваги максимальна різниця дотичного напруження τ_n і відповідного нормального напруження σ_n , помноженого на тангенс кута граничного тертя φ , дорівнює граничному напруженню щеплення k , тобто:

$$|\tau_n| - \sigma_n \operatorname{tg} \varphi = k.$$

За (4) прийняте відоме рівняння суцільності середовища [5] (для середовища, що стискається).

Рівняння (5) отримаємо із умови (допущення) збігання максимальних швидкостей деформації зсуву з напрямком ліній ковзання. Дане рівняння широко застосовується при вирішенні різних задач механіки суцільних середовищ [5].

Система рівнянь (1)-(5) вирішена Г.А. Генієвим [5] для випадку сталого руху сипучого середовища. Процес віброзанурення паль призводить до несталого руху ґрунту в зоні палі, тому вирішимо задачу для цього випадку.

Система рівнянь (1)-(5) складається із чотирьох диференціальних і одного алгебраїчного рівняння і має п'ять невідомих функцій:

$$\sigma_x(x, y, t), \sigma_y(x, y, t), \tau_{xy}(x, y, t), V_x, V_y.$$

Для її вирішення зробимо деякі спрощення. Введемо нову величину σ за допомогою рівності, користаючись огинаючою кіл Мора [4]:

$$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) + k \operatorname{ctg} \varphi,$$

яка разом з умовою (3) дає можливість отримати:

$$\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) = \sigma - k \operatorname{ctg} \varphi, \quad \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) = \sigma \operatorname{ctg} \varphi.$$

Відомі формули перетворення:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_x \\ \sigma_y \end{array} \right\} = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \pm \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\beta, \quad T_{xy} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\beta$$

після внесення отриманих виразів $\sigma_1 + \sigma_2$ і $\sigma_1 - \sigma_2$ легко визначити

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_x \\ \sigma_y \end{array} \right\} = \rho_0 \sigma (1 \pm \sin \varphi \cos 2\beta) - k \operatorname{tg} \varphi$$
$$\tau_{xy} = \rho_0 \sigma \sin \varphi \sin 2\beta. \quad (6)$$

Тут ρ_0 - коефіцієнт, що має розмірність щільності.

Таким чином, тут компоненти напруженого середовища представлені через дві нові змінні σ і β , причому β - кут між віссю x і головною віссю 1 (за напрямком головного напруження σ_1).

Решта компонентів представлена наступним чином:

$$V_x = V \cos \alpha, \quad (7)$$

$$V_y = V \sin \alpha, \quad (8)$$

де α - кут між позитивним напрямком вісі x і вектором швидкості V ; V - модуль вектора швидкості в точці ґрунту, що розглядається.

Підставляючи вирази (6), (7), (8) і їх похідні в (1), (2), (4), (5) після ряду перетворень отримаємо основну систему чотирьох квазілінійних диференціальних рівнянь першого порядку відносно функцій σ, β, α, V :

$$(1 - V^2 \frac{\rho_\sigma'}{\rho_0} \cos^2 \alpha + \sin \varphi \cos 2\beta) \frac{\partial \sigma}{\partial x} +$$
$$(\sin \varphi \sin 2\beta - V^2 \frac{\rho_\sigma'}{\rho_0} \sin \alpha \cos \alpha) \frac{\partial \sigma}{\partial y} - \cos \alpha \frac{\partial V}{\partial t} - X\eta = 0 \quad ; \quad (9)$$

$$(\sin \varphi \sin 2\beta - V^2 \frac{\rho_{\sigma}'}{\rho_0} \sin \alpha \cos \alpha) \frac{\partial \sigma}{\partial x} + (1 - V^2 \frac{\rho_{\sigma}'}{\rho_0}) \sin^2 \alpha - \sin \varphi \cos 2\beta) \frac{\partial \sigma}{\partial y} - \sin \alpha \frac{\partial V}{\partial t} + 2\sigma \sin \varphi (\frac{\partial \beta}{\partial x} \cos 2\beta + \frac{\partial \beta}{\partial y} \sin 2\beta) + V^2 \frac{\partial \sigma}{\partial x} \eta - V \sin \alpha \frac{\partial \alpha}{\partial t} + Y \eta = 0 \quad ; (10)$$

$$V \sin[\alpha - (\beta \pm \gamma)] [\frac{\partial \alpha}{\partial x} \cos(\beta \pm \gamma) + \frac{\partial \alpha}{\partial y} \sin(\beta \pm \gamma)] - \cos[\alpha - (\beta \pm \gamma)] [\frac{\partial V}{\partial x} \times \times \cos(\beta \pm \gamma) + \frac{\partial V}{\partial y} \sin(\beta \pm \gamma)] - V \frac{\rho_{\sigma}'}{\rho_0} \sin^2(\beta \pm \gamma) (\frac{\partial \sigma}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial \sigma}{\partial y} \sin \alpha) + \frac{\rho_{\sigma}'}{\rho_0} \frac{\partial \sigma}{\partial t} = 0 \quad ; (11)$$

$$V \cos[\alpha - (\beta \pm \gamma)] [\frac{\partial \alpha}{\partial x} \sin(\beta \pm \gamma) - \frac{\partial \alpha}{\partial y} \cos(\beta \pm \gamma)] + \sin[\alpha - (\beta \pm \gamma)] [\frac{\partial V}{\partial x} \times \times \sin(\beta \pm \gamma) - \frac{\partial V}{\partial y} \cos(\beta \pm \gamma)] - V \frac{\rho_{\sigma}'}{\rho_0} \cos^2(\beta \pm \gamma) (\frac{\partial \sigma}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial \sigma}{\partial y} \sin \alpha) = 0 \quad , (12)$$

де $\eta = \frac{\rho_{\sigma}}{\rho}$.

Система (9)-(12) може бути вирішена методом характеристик [6]. Згідно з цим методом у зоні навантаження будується сітка ліній ковзання, в точках перетину яких методом скінчених різниць знаходяться невідомі параметри напруженого стану ґрунту.

Для випадку квазідинамічної постановки задачі про занурення палі (гострого клина) маємо форму напруженого стану, яка наведена на рис. 2.

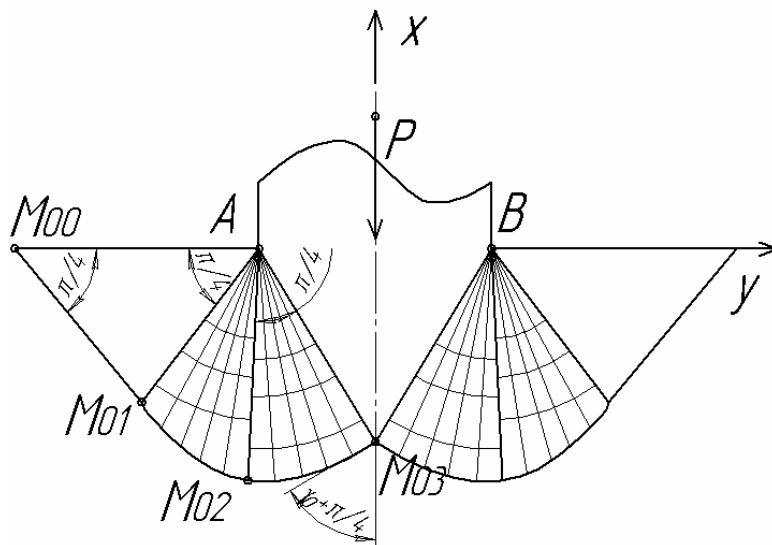


Рис. 2. Форма розподілу напружень в зоні контакту палі з ґрунтом

В площині xu розрізняють три області: трикутник $AM_{00}M_{01}$, круговий сектор $AM_{01}M_{02}$ і криволінійний трикутник $AM_{02}M_{03}$.

В трикутнику $AM_{00}M_{01}$ і круговому секторі $AM_{01}M_{02}$ напружений стан визначається в точках координатної сітки:

$$\chi = -\frac{1}{2}, \quad \varphi = -\frac{\pi}{2} \quad \text{і} \quad \chi + \varphi = \xi_0, \quad \varphi = \frac{\pi}{4} + \arctg \frac{y}{x+a},$$

де χ і φ - безрозмірні змінні.



Сітка характеристик в першій області області складається з двох сімейств паралельних прямих, нахилених до осі y під кутом $\frac{\pi}{4}$, а в другій області утворена сімейством концентричних кіл з центром в точці A і пучком прямих, що проходить через цю ж точку.

В криволінійному трикутнику $AM_{02}M_{03}$:

$$\chi + \varphi = \xi_0, \quad y = x \operatorname{tg}(\varphi - \frac{\pi}{4}) = y(\varphi) - x(\varphi) \operatorname{tg}(\varphi - \frac{\pi}{4}) - d,$$

а сітка характеристик утворена кривими, які знаходяться шляхом інтегрування рівнянь:

$$\chi = \xi_0 - \varphi, \quad y = x \operatorname{tg}(\varphi - \frac{\pi}{4}) + \psi(\varphi),$$

$$\frac{\partial y}{\partial \varphi} = \operatorname{tg}(\varphi + \frac{\pi}{4}) \frac{\partial x}{\partial \varphi}.$$

І перетинаються прямими $\varphi = \text{const}$, які перетинають лінії контакту під кутом $\frac{\pi}{4}$.

Із симетрії задачі відносно осі x ясно, що величина χ повинна бути поданою функцією від α (де α - кут гостроти палі). Тому для правої лінії контакту:

$$2\chi = -(\pi + 1 - 2\alpha).$$

Нормальна компонента напружень вздовж тої ж лінії контакту може бути знайдена у вигляді:

$$\sigma_n = -k(\pi + 2 - 2\alpha).$$

Сила тиску штампа P на ґрунт визначається шляхом множення величини нормальних напружень σ_n на площу контакту палі з ґрунтом:

$$P = 2ka(\pi + 2 - 2\alpha).$$

В міру занурення палі в ґрунт необхідно враховувати поправки на бокове тертя палі з ґрунтом, а також ущільнення ґрунту.

Установка для занурення в ґрунт булівельних елементів може бути реалізована з однією ступінню вільності (коли робочий орган жорстко закріплений до елемента) або з двома ступенями вільності (коли робочий орган діє на елемент через пружину). Більш раціональним є другий варіант, оскільки така система (робочий орган-елемент) може працювати в резонансному режимі.

Для системи з однією ступінню вільності загальний вигляд рівняння коливань такий:

$$m\ddot{x} + p_c(\ddot{x}, \dot{x}, x) = Q(t).$$

Вирішити це рівняння можна, знаючи характер опору P і змушуючої сили $Q(t)$. Для гармонійної сили статичний момент маси дебалансів $m_o r_o$ в залежності від амплітуди коливань елемента x_o може бути визначений за формулою

$$m_o r_o = m x_o + \frac{P_c}{\omega^2}.$$

Висновки:

1. Розроблений чисельний метод розрахунку напружено-деформованого стану в зоні занурення палі. Він дає можливість визначити опір на палю в процесі її занурення і закономірності зміни цього опору.

2. При вібраційному зануренні будівельних елементів опір на їх кінці не можна вважати сталим. Він залежить від властивостей ґрунту, форми наконечника, режиму роботи робочого органу глибини занурення та ін.

3. При розробці системи електроприводу для вібраційного занурення будівельних елементів у ґрунт необхідно враховувати напружено-деформований стан в зоні їх занурення.

Література

1. *Блехман И.И.* Исследование процесса вибрационной забивки свай. – в кн.: "Инженерный сборник". – М.: Изд. АН СССР. – Т.19. – 1954.
2. *Иносов В.Л.* О моделировании процесса вибропогружения свай// Горные, строительные и дорожные машины. – 1974. – Вып. 17. – С. 85-90.
3. *Соколовский В.В.* Теория пластичности – М.: Высшая школа, 1969. – 608 с.
4. *Сівко В.Й.* Основи механіки будівельних матеріалів – К.: Вища школа, 1987. – 168 с.
5. *Гениев Г.А., Эстрин Н.И.* Динамика пластической и сыпучей среды. – М.: Стройиздат, 1972. – 216 с.
6. *Канторович Л.В.* Приближённые методы высшего анализа. – М. – Л.: Физматгиз, 1962 – 708 с.

В.І.Лесько, доцент КНУБА

ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ МОДЕЛЕЙ ВІДМОВ ГІДРОПРИВОДУ ОДНОКІВШОВИХ ЕКСКАВАТОРІВ

Широке застосування в будівельному виробництві складних сучасних гідрофікованих будівельних машин (одноківшових екскаваторів, кранів та ін. техніки) висуває до системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), що склалася в теперішній час, досить жорсткі і якісно нові вимоги. Перш за все – це: забезпечення високого рівня надійності і функціонування гідроприводів (ГП) машин, що в повній мірі задовольняють вимоги споживача, підвищення ефективності реалізації їх технічних можливостей на стадії експлуатації при мінімальних затратах на експлуатацію і відновлення.

Ці обставини примушують експлуатаційників застосувати більш прогресивну стратегію технічного обслуговування і ремонту машин "за технічним станом", що дозволяє використовувати інформацію про надійність гідроприводів, технічний стан його елементів і ступені їх роботоздатності для прийняття рішення про призначення оптимальних строків і об'ємів ТО і Р, тобто для цілей управління його технічним станом і надійністю. В кінцевому результаті можливість управління надійністю ГП призведе до значного підвищення ефективності використання машин в будівництві за рахунок зниження простоїв в ТО і Р, збільшення функціональних можливостей, зниження експлуатаційних затрат і т.п.

Реалізації стратегії ТО і Р "за технічним станом" на практиці повинно передувати вирішення цілого комплексу взаємопов'язаних між собою проблем, що стосуються питань управління надійністю і реалізації її в умовах експлуатації. В свою чергу, успішне рішення цих питань в значній мірі визначається ефективністю теоретичних і прикладних розробок в області оцінок і прогнозування показників надійності машин.

Нажаль, слід відзначити, що разом з позитивною оцінкою досягнень в області надійності будівельних машин, в даний час визріла певна криза в застосуванні результатів наукових досліджень, методик, стандартів і підходів, які були розроблені на їх базі. Як