

УДК 624.132.3

Є.В. Горбатюк, к.т.н., доцент;
С.Ю. Комоцька, асистент (КНУБА, Київ)

МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СКРЕБКОВОГО ГРУНТОПРИБИРАЧА

АННОТАЦІЯ. У статті подана розробка комбінованої фізико-математичної моделі скребкового ґрунтоприбирача, що дозволяє досліджувати його робочі процеси під час роботи на безківшових ланцюгових траншеєкопачах.

Ключові слова: скребковий ґрунтоприбирач, ґрунт, траншея.

АННОТАЦИЯ. В статье приведена разработка комбинированной физико-математической модели скребкового ґрунтоуборщика, позволяющая исследовать его рабочие процессы во время работы на бесковшовых цепных траншеєкопателях.

Ключевые слова: скребковый ґрунтоуборщик, ґрунт, траншея.

SUMMARY. In article the are development combined physical-mathematical model of scraper janitor, allowing to investigate the working processes of janitor during work on not having scoops chain ditchers, is worked out in the article and got.

Key words: scraper janitor, soil, trench.

Вступ

Безківшові траншейні екскаватори призначені для земляних робіт на відкритому просторі. Ці машини спроможні руйнувати та виносити ґрунт на поверхню, прорізаючи в породі щілину, яку в подальшому використовують для прокладання інженерних комунікацій. Вибраний траншеєкопачем ґрунт має однорідну структуру і може бути використаний для зворотного засипання.

Траншея може бути прокладена з високою точністю, особливо при застосуванні лазерних систем керування.

Траншеєкопач мінімізує обсяг ґрунту, що вибирається, і пов'язані з цим енерговитрати.

Отже, застосування безківшових ланцюгових траншеєкопачів дозволяє знизити енерговитрати на розробку твердого та мерзлого ґрунтів, отримати траншею, технологічно підготовану для укладання інженерних комунікацій у проектне положення на протязі усього року.

Ці переваги забезпечують високу продуктивність і рентабельність спеціалізованих траншеєкопачів.

Мета і постановка задачі

Відмінністю безківшового ланцюгового траншеєкопача є те, що виконавчий орган разом з руйнуванням ґрунту виконує функ-

цію органа, який транспортує його із траншеї. Піднятий із траншеї ґрунт накопичується перед виконавчим органом на поверхні незруйнованого масиву.

За мірою проходження траншеї ґрунт необхідно видаляти із зони дії ріжучого ланцюга, інакше він осипається у зазори між виконавчим органом і боковими стінками траншеї, зтягується до неї холостою гілкою ріжучого ланцюга і накопичується між ріжуче-транспортуючими елементами.

Ущільюючись, ґрунт ускладнює доступ різців до вибою, водночас збільшується зусилля подачі та протягування ріжучого ланцюга, що призводить до роботи в режимі підпресування виконавчого органа за значно менших швидкостях подачі машини ніж при вибиранні зруйнованого ґрунту із зони дії ріжучого ланцюга.

У зв'язку з цим виникає необхідність застосування механізмів для відокремлення ґрунту від виконавчого органа траншеєкопача – ґрунтоприбирача.

Вимоги, що ставляться до ґрунтоприбирачів, залежать від технологічного призначення траншеєкопача. Якщо він служить для прокладання траншеї під інженерні комунікації, то зруйнований ґрунт необхідно буртувати на певну відстань від бровки траншеї, щоб він не заважав прокладанню комунікацій і в той же час міг бути викори-

станій для її засипки.

У зв'язку з викладеним, дослідження, спрямовані на вдосконалення засобів та методів відокремлення зруйнованого ґрунту від виконавчого органа, є актуальними.

Виклад основного матеріалу

Методика моделювання роботи скребкового ґрунтоприбирача

Методи фізичного моделювання та їх застосування [1, 5] базуються на теорії подібності та розмірності, за допомогою якої складаються безрозмірні критерії, що характеризують процес який вивчається.

Теорія подібності та розмірностей є зв'язуючим елементом між розрахунком (теорією) та експериментом, що вказує як потрібно ставити досліди, як оброблювати дослідні дані та як узагальнювати та розповсюджувати отримані результати на інші об'єкти, тобто є можливість встановлення структури функціональних зв'язків між фізичними величинами [3].

Використання моделей передбачає проведення експерименту, що є частиною наукових досліджень, за допомогою яких формуються нові уявлення про досліджувальний об'єкт, перевіряються робочі гіпотези і припущення, встановлюються конкретні залежності та величини.

Експеримент дає можливість встановлювати значення факторів заздалегідь за визначеним планом, а дослідник може втручатися у хід проведення експерименту та вносити потрібні корективи. При цьому планування експерименту значно скорочує трудомісткість та час його проведення, дозволяє досягти заданого рівня значимості при мінімально-можливому числі дослідів.

Задача знаходження математичного опису процесу, який вивчається, або функції відклику для вивчення видалення ґрунту від траншеї, що прорізається, потрібно вирішувати за допомогою проведення дослідів на моделі. Приступаючи до побудови математичної моделі нам потрібно вирішити два основних питання: вибрати критерій та незалежні змінні фактори, якими можна керувати в ході експериментів. Ця вимога

до процесу моделювання детально викладена в роботі [1].

При складанні критерію враховувались роботи авторів [1, 2, 3], де позначається ряд необхідних умов, які також застосовні до випадку, що розглядається. А саме:

- 1) критерій має бути однозначним, кількісним і допускати вимір за будь-якої можливої комбінації вибраних рівнів факторів;
- 2) має бути універсальним, тобто усебічно характеризувати об'єкт дослідження;
- 3) мати простий фізичний сенс;
- 4) існувати для усіх стадій проведення експерименту.

На основі аналізу факторів, що впливають на процес видалення винесеного на денну поверхню ґрунту від траншеї, що прорізається безківшовим ланцюговим екскаватором, були виділені наступні параметри: *характеристики ґрунту* (коефіцієнт зовнішнього тертя f_0 ; коефіцієнт внутрішнього тертя f_b ; об'ємна вага γ ; сила зчеплення шарів ґрунту $F_{зч}$, що транспортується; вологість ґрунту W), що транспортувався, і *характеристики скребкового транспортера* (ширина скребка транспортера l ; коефіцієнт заповнення транспортуючого простору ґрунтом ψ ; швидкість подачі траншеєкопача або переміщення транспортера v_n ; швидкість руху робочого органа транспортера $v_{тр}$; швидкість руху ланцюга для скребкового ґрунтоприбирача v_n ; подача на один скребок S ; масова продуктивність Q_B , зусилля, що витрачається на транспортування P ; потужність, що витрачається транспортером на транспортування ґрунту $N_{тр}$). Аналізуючи наведені вище параметри, можна відмітити, що всі вони незалежні, керовані, сумісні, однозначні і можуть бути з достатньою точністю заміряні.

Розглянувши ряд параметрів, була вибрана в якості критерію потужність $N_{тр}$, потрібна на видалення ґрунту, винесеного на денну поверхню від траншеї, що прорізається, яка відповідає усім перерахованим умовам.

Після вибору критерію нами були вибрані керовані параметри, за допомогою

яких здійснювалася дія на досліджуваний процес. Для уникнення грубих помилок спочатку був складений максимально повний список параметрів за результатами колишніх досліджень, вивчення літератури, попередніх спостережень за процесом. Потім провели оцінку кожного параметра і зменшили їх число за допомогою методу експериментального відсіювання, заснованого на видаленні деяких після проведення ряду експериментів [4].

Відібрані параметри мають кількісну оцінку.

Керовані параметри відповідають наступним вимогам [3]:

1) незалежність, тобто можливість встановлення параметрів на будь-якому рівні незалежно від рівнів інших параметрів;

2) сумісність або можливість одночасної зміни декількох параметрів за різних комбінацій;

3) керованість, яка означає, що експериментатор може підтримувати параметр постійним вздовж усього досліджу;

4) точність виміру;

5) однозначність, тобто безпосередня дія параметрів на об'єкт. Важко керувати параметром, який є функцією інших параметрів. Але в плануванні можуть брати участь і складні параметри, що складаються з декількох простих.

Процес видалення винесеного на денну поверхню ґрунту від траншеї, що прорізається ланцюговим безквішовим екскаватором, запишеться:

$$N_{\text{тр}} = f(l, S, f_0, f_v, \gamma, W, \psi, v_n, v_{\text{тр}}, v_{\text{л}}, F_c, Q_B, P) \cdot (1)$$

За такої великої кількості параметрів дослідження процесу видалення ґрунту транспортерами без застосування теорії багатofакторного експерименту є дуже складне. Навіть при використанні цієї теорії, без складання безрозмірних критеріїв, кількість дослідів стала значним.

Існує два основні способи визначення критеріїв подібності.

Перший полягає в тому, що рівняння, які описують фізичний процес, наводяться до безрозмірного виду. Для цього необхідно знати, які диференціальні рівняння описують процес, що досліджується. Оскільки немає точного єдиного математичного опи-

су процесу транспортування винесеного на денну поверхню відокремленого мерзлого ґрунту транспортерами, нами використаний *другий* спосіб, заснований на аналізі розмірності величин, що визначають протікання процесу і характеризують його.

Як основні одиниці системи прийняті l , $v_{\text{л}}$, P .

Розмірність будь-якої величини в механічній системі може бути виражена через розмірність маси $[M]$, шляху $[L]$ і часу $[T]$.

Отримаємо:

$$\begin{aligned} l &= [M]^0 \cdot [L]^1 \cdot [T]^0; \\ v_{\text{л}} &= [M]^0 \cdot [L]^1 \cdot [T]^{-1}; \\ P &= [M]^1 \cdot [L]^1 \cdot [T]^{-2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Основні одиниці системи мають бути незалежні і ця незалежність є визначник системи:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -2 \end{vmatrix} = -1 \neq 0. \quad (3)$$

Згідно [3] параметри (1) можна записати

$$\begin{aligned} \frac{N_{\text{тр}}}{l^{\alpha_1} \cdot v_{\text{л}}^{\beta_1} \cdot P^{\gamma_1}}; \quad \frac{t}{l^{\alpha_2} \cdot v_{\text{л}}^{\beta_2} \cdot P^{\gamma_2}}; \quad \frac{\gamma}{l^{\alpha_3} \cdot v_{\text{л}}^{\beta_3} \cdot P^{\gamma_3}}; \\ \frac{v_{\text{л}}}{l^{\alpha_4} \cdot v_{\text{л}}^{\beta_4} \cdot P^{\gamma_4}} \text{ і так далі,} \end{aligned} \quad (4)$$

де α , β , γ – показники ступеню розмірності.

Значення l^{α_1} , $v_{\text{л}}^{\beta_1}$, P^{γ_1} , ..., $l^{\alpha_{10}}$, $v_{\text{л}}^{\beta_{10}}$, $P^{\gamma_{10}}$ визначаються з умови, що комплекси, які входять у вираз (4), – безрозмірні величини.

Наприклад,

$$\frac{N_{\text{тр}}}{l^{\alpha_1} \cdot v_{\text{л}}^{\beta_1} \cdot P^{\gamma_1}} = \frac{[M]^1 \cdot [L]^2 \cdot [T]^{-3}}{[L]^{\alpha_1} \cdot ([L]^1 \cdot [T]^{-1})^{\beta_1} \cdot ([M]^1 \cdot [L]^1 \cdot [T]^{-2})^{\gamma_1}} =$$

$$= [M]^{1-\gamma_1} \cdot [L]^{2-\alpha_1-\beta_1-\gamma_1} \cdot [T]^{-3+\beta_1+2\gamma_1} = -1,$$

тоді $M: 1-\gamma_1=0$, звідси $\gamma_1=1$;

$$L: 2-\alpha_1-\beta_1-\gamma_1=0, \quad \text{звідси } \alpha_1=0;$$

$$T: -3+\beta_1+2\gamma_1=0, \quad \text{звідси } \beta_1=1.$$

Відповідно першим критерієм подібності буде:

$$\Pi_1 = \frac{N_{\text{тр}}}{v_{\text{л}} \cdot P}.$$

За такою методикою знаходимо інші критерії:

$$\Pi_2 = \frac{t}{l}; \quad \Pi_3 = \frac{v_{\text{п}}}{v_{\text{л}}}; \quad \Pi_4 = \frac{v_{\text{л}} \cdot Q_{\text{В}}}{P}. \quad (5)$$

Оскільки процеси, що вивчаються на моделі для машин у натуральну величину, є подібні, то відповідні критерії для моделі і для натури повинні дорівнювати одне одному:

$$\left(\frac{N_{\text{тр}}}{v_{\text{л}} \cdot P} \right)_{\text{н}} = \left(\frac{N_{\text{тр}}}{v_{\text{л}} \cdot P} \right)_{\text{м}}; \quad \left(\frac{S}{l} \right)_{\text{н}} = \left(\frac{S}{l} \right)_{\text{м}};$$

$$\left(\frac{v_{\text{п}}}{v_{\text{л}}} \right)_{\text{н}} = \left(\frac{v_{\text{п}}}{v_{\text{л}}} \right)_{\text{м}}; \quad \left(\frac{v_{\text{л}} \cdot Q_{\text{В}}}{P} \right)_{\text{н}} = \left(\frac{v_{\text{л}} \cdot Q_{\text{В}}}{P} \right)_{\text{м}};$$

$$\gamma_{\text{н}} = \gamma_{\text{м}} = \text{idem}; \quad F_{\text{сн}} = F_{\text{см}} = \text{idem};$$

$$f_{\text{он}} = f_{\text{ом}} = \text{idem}; \quad f_{\text{вн}} = f_{\text{вм}} = \text{idem};$$

$$\psi_{\text{н}} = \psi_{\text{м}} = \text{idem}.$$

При проведенні досліджень на моделі властивості ґрунту були незмінні. Зміна параметру γ – об'ємної ваги ґрунту, що транспортується, пов'язано з великими труднощами, а при варіюванні значень $F_{\text{зч}}$ – сил зчеплення шарів цього ґрунту, розпушений мерзлий ґрунт переходить в інший фізичний стан із-за часткового танення льоду. Міцнісні характеристики мерзлих ґрунтів сезонного промерзання не залишаються постійними і змінюються мірою поширення низьких температур впродовж зимового періоду. Тому варіювання їх в певному діапазоні при експериментах в полі неможливе. Отже, щоб виявити закономірність впливу міцнісних характеристик на процес руйнування, потрібне проведення експериментів в лабораторних умовах.

Вирішення зазначеної проблеми можливе через застосування математичного моделювання.

В якості математичної моделі (рівняння регресії) [1] для описування процесу видалення ґрунту від траншеї, що прорізається, приймається рівняння виду:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (6)$$

Висновки

На основі проведеного аналізу процесу видалення винесеного ґрунту від траншеї скребковим ґрунтоприбирачем, розроблено модельний комплекс для визначення параметрів цих машин, що включає:

а) фізичну модель скребкового ґрунтоприбирача;

б) математичну модель роботи скребкового ґрунтоприбирача.

Отримана комбінована фізико-математична модель скребкового ґрунтоприбирача, що дозволяє досліджувати його робочі процеси під час роботи на безквішних ланцюгових траншеєкопачах.

Література

1. Баловнев, В.И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. - М.: Машиностроение, 1974. - 232с.
2. Ашихмин, В.Н. Введение в математическое моделирование: Учебное пособие / В.Н. Ашихмин и др.; под общ. ред. П.В. Трусова. - М.: "Интермет Инжиниринг", 2000. - 336с.
3. Алабужев, П.М. Лекции по основам теории подобия и моделирования / П.М.Алабужев. - Новосибирск, 1968. - 36с.
4. Митков, А.Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А.Л.Митков, С.В.Кардашевский. - М.: Машиностроение, 1978. - 360с.
5. Горбатюк С.В., Комоцька С.Ю. Визначення режимів роботи скребкового ґрунтоприбирача // Гірн., буд., дор. та меліорат. машини: Всеукр. збірник наукових праць, - К.: КНУБА, 2008. - Вип. 72 - С. 74-77.

Рецензент: О.М. Гаркавенко, к.т.н., доцент (КНУБА, Київ)

Отримано: 11.04.2011 р.