

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РУШІЯ РОЗПУШУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ
З ПОВЕРХНЕЮ ҐРУНТУ**

Євгеній Горбатюк, Володимир Волянчук, Дмитро Міщук

*Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна, e-mail: gek_gor@i.ua*

**MATHEMATICAL MODELLING OF CO-OPERATION OF RENDERING-ENGINE OF SCARIFIER
AGGREGATE WITH THE SURFACE OF SOIL**

Ievgenii Gorbatiuk, Volodimir Volyaniuk, Dmytro Mischuk

*Kyiv National University of Construction and Architecture,
Povitroflotsky prospect 31, Kyiv, Ukraine*

АНОТАЦІЯ. Запропонована математична модель впливу реакції ґрунту при його руйнуванні на некерівані переміщення робочого органа розпушувача. Використання цієї моделі дає змогу підвищити ефективність розпушувального обладнання шляхом удосконалення його системи керування.

Ключові слова: розпушувач, рушій, ґрунт, рельєф, математична модель.

АННОТАЦИЯ. Предложена математическая модель влияния реакции грунта при его разрушении на неуправляемые перемещения рабочего органа рыхлителя. Применение этой модели дает возможность повысить эффективность рыхлительного оборудования путем совершенствования его системы управления.

Ключевые слова: рыхлитель, движитель, грунт, рельеф, математическая модель.

ABSTRACT. Purpose. The aim of work is an increase of efficiency of burster aggregate by the improvement of his control system. **Methodology/approach.** The method of research - analytical method turns physical materiality process of destruction of the soil. **Findings.** Mathematical model of the ground surface can be presented by the determined or stochastic (casual) functions. For realization of casual microrelief on computers the algorithm based on converting of stationary sequence of the independent normally up-diffused random numbers (discrete white noise) into some sequence is usually used, what recurrent equalization is used for. **Research limitations/implications.** Application of stochastic models of relief allows to decide a task to cooperation of rendering-engine with soil at afoot of base machine on an underlayment taking into account the real relief. An existent mathematical vehicle allows to design motion of base machine on an underlayment taking into account the real hypsography and can be used in further works at the calculations of cooperation of rendering-engine of scarifier with the surface of soil. **Originality/value.** Inequalities of hypsography can be conditionally divided into a macrorelief, microrelief and roughnesses. To the macroprofile inequalities of considerable extent (more than 100 m) behave in relation to large amplitude, that does not cause the vibrations of machine and out of control moving of working organ practically. Roughnesses are characterized inequalities long a less than 0,5 m and compensated by the smoothed ability of elements of working equipment.

Key words: scarifier, rendering-engine, soil, relief, mathematical model.

ВСТУП

Освоєння родовищ корисних копалин, їх транспортування, будівництво нафто- і газопроводів неможливо без сучасної землерийної техніки, здатної розробляти міцні мерзлі і скельні ґрунти.

Одним з основних видів машин, що здійснюють розробку мерзлих і скельних ґрунтів є розпушувачі на базі гусеничних тракторів, робочий процес яких характеризується найменшою енергоємністю процесу руйнування ґрунту.

Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення продуктивності і зниження енергоємності цих машин, є актуальними.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДЖЕРЕЛ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У зв'язку з тим, що мерзлі і скельні ґрунти мають підвищену міцність, їх розробка землерийними машинами неможлива без попередньої обробки, спрямованої на зниження опору ґрунту для подальшої розробки.

Нині використовуються різні способи розробки мерзлих і скельних ґрунтів [1...6],

основні з яких буропідривні роботи та розпушування ґрунту навісними розпушувачами.

Найбільш ефективним способом руйнування мерзлих та скельних ґрунтів з точки зору продуктивності машин і собівартості розробки ґрунту є горизонтальне пошарове розпушування навісними розпушувачами на базі потужних тракторів. В цьому випадку відрив стружки ґрунту від масиву відбувається у напрямі відкритої поверхні, що є найменш енергоємним способом, оскільки тут переважають зусилля розтягування (розриву) ґрунту, які у декілька разів менші ніж зусилля стиску або зсуву.

Розпушування ґрунту забезпечує зниження витрат на тонну продукції, сприяє підвищенню якості продукції і є меншою небезпекою для довкілля в порівнянні з виконанням земляних робіт буропідривним методом [11, 12].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Ефективність розпушувального агрегату значною мірою залежить від раціональних режимів роботи силової установки. Системи керування, що серійно випускаються на цей час, прилади індикації, а також уповільнена реакція людини-оператора на умови робочого процесу, що швидко змінюються, не дозволяють повною мірою використати тягово-зчіпні якості машини.

В процесі роботи розпушувального агрегату його ходове устаткування взаємодіє з ґрунтом, що викликає некеровані переміщення робочого органа в просторі, а, отже, і зміну глибини розпушування, що призводить до зміни реакції ґрунту на робочому органі.

У зв'язку з цим необхідно розробити математичну модель процесу дії мікрорельєфу на некеровані переміщення робочого органа розпушувального агрегату, які викликають зміну глибини розпушування.

Актуальною є проблема подальшого вдосконалення систем управління розпушувальних агрегатів, що частково або повністю виключає людину-оператора з кон-

турів керування двигунами і положенням робочого органа.

Метою роботи є підвищення ефективності розпушувального агрегату шляхом удосконалення його системи керування.

Вибір моделі взаємодії ходового обладнання розпушувального агрегату з ґрунтом базується на наступних передумовах: визначення лінійних і кутових переміщень розпушувального агрегату в двомірному просторі, урахування пружно-в'язких властивостей підвіски та деформованості ґрунту, а також урахування дії сили реакції ґрунту на переміщення остову.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

При складанні моделі взаємодії ходового обладнання з ґрунтом прийняті наступні допущення:

- пружно-в'язкі властивості ґрунту не враховуються внаслідок їх малості при роботі на мерзлих ґрунтах;
- впливи маси елементів підвіски на переміщення остову не враховуються;
- профіль шляху під обома гусеницями однаковий;
- котки мають постійний контакт з гусеницею;
- остов трактора і елементи навісного устаткування є абсолютно жорсткими;
- кут нахилу лінії дії опору розпушування при коливаннях остову не змінюється;
- вертикальне навантаження на ліву і праву гусениці однакові.

Для складання моделі застосовується розрахункова схема (рис. 1), в якій гусениця розділена на дві напівгусениці, що взаємодіють з ґрунтом. Вони пов'язані між собою через остов, пружно-в'язкі властивості кожної напівгусениці характеризуються коефіцієнтами жорсткості c_1 , c_2 та демпфірування p_1 , p_2 . Оскільки використовується плоска розрахункова схема, коефіцієнти жорсткості і демпфірування є сумою коефіцієнтів жорсткості і демпфірування лівої і правої гусениць для кожної напівгусениці.

Мікрорельєф моделюється кореляційною функцією [7]

$$R_y(l) = \sigma^2 \cdot e^{-\alpha_1 |l|} \cos \beta l, \quad (1)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення, для подовжного профілю $\sigma = 0,015 \dots 0,08$ м, для поперечного профілю $\sigma = 0,05 \dots 0,28$ м; α_i – параметри, що характеризують загасання кореляції, для подовжного профілю $\alpha = 1,4 \dots 2,8$ рад/с, для поперечного профілю $\alpha = 2,3 \dots 3,9$ рад/с; β_i – параметри, що характеризують періодичність кореляції, для подовжного профілю $\beta = 1,0 \dots 1,5$ рад/с, для поперечного профілю $\beta = 1,2 \dots 3,6$ рад/с; l – довжина ділянки.

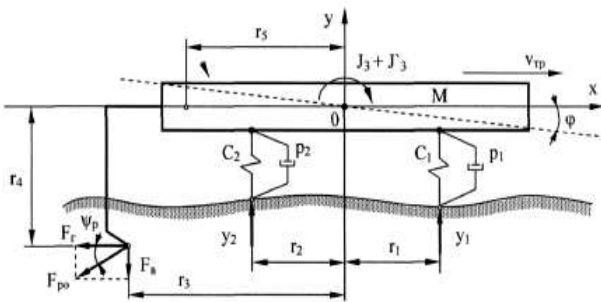


Рис. 1. Розрахункова схема моделі взаємодії ходового обладнання з ґрунтом

Fig. 1. A calculation chart of model of co-operation of working equipment is with soil

Для урахування згладжуючої здатності гусениць застосовується вираз дискретного вигляду [8]

$$y(n) = \frac{1}{M} \int_{m=n-k}^{n+k} y(m), \quad (2)$$

де $k = 0,5(M - 1)$; M – інтервал усереднення; $y(m)$ – ординати незгладженого мікрорельєфу.

Вже згладжений мікрорельєф характеризується вертикальними координатами під передньою y_1 та задньою y_2 напівгусеницями (див. рис. 1).

Початок координат поєднаний з центром тяжіння розпушувального агрегату в початковому положенні. За додатковий напрямок осі y вважаємо напрямком вгору, а додатковим напрямком кута φ – нахил розпушувального агрегату уперед.

Умови рівноваги остову розпушувального агрегату на підставі принципу Даламбера:

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} = \sum_{i=1}^2 F_{ci} + \sum_{i=1}^2 F_{pi} + F_B, \quad (3)$$

де M – маса підресореної частини трактора; F_{ci} – сила, що діє на остов від пружного елемента i -ої напівгусениці; F_{pi} – сила, що діє на остов від демпфірувального елемента i -ої напівгусениці.

$$J_{pa} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \sum_{i=1}^2 M_{ci} + \sum_{i=1}^2 M_{pi} + M_{Fpo}, \quad (4)$$

де $J_{pa} = J_3 + J'_3$ – момент інерції остову трактора і робочого органа відносно поперечної осі, що проходить через центр тяжіння; M_{ci} і M_{pi} – моменти відносно центру тяжіння від сил F_{ci} та F_{pi} ; M_{Fpo} – момент відносно центру тяжіння від сили реакції ґрунту на робочий орган.

Сили, що діють на остов від пружних і демпфірувальних елементів,

$$F_{ci} = c_i \cdot y_i, \quad (5)$$

$$F_{pi} = p_i \cdot \frac{dy_i}{dt}, \quad (6)$$

де y_i – вертикальна координата під i -ої напівгусеницею.

$$y_i = y + \Delta y_i, \quad (7)$$

де Δy_i – зміна вертикальної координати під i -ої напівгусеницею.

З урахуванням виразу (7)

$$\sum_{i=1}^2 F_{ci} = c_1 \cdot (y + \Delta y_1) + c_2 \cdot (y + \Delta y_2), \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^2 F_{pi} = p_1 \cdot \frac{d(y + \Delta y_1)}{dt} + p_2 \cdot \frac{d(y + \Delta y_2)}{dt}. \quad (9)$$

Після підстановки виразів (8) і (9) у рівняння (3) і виконання деяких перетворень отримаємо

$$\begin{aligned} M \frac{d^2 y}{dt^2} + (p_1 + p_2) \frac{dy}{dt} + (c_1 + c_2) y &= \\ = p_1 \frac{d\Delta y_1}{dt} + c_1 \Delta y_1 + p_2 \frac{d\Delta y_2}{dt} + &+ c_2 \Delta y_2 + F_B. \end{aligned} \quad (10)$$

У операторному вигляді рівняння (10) запишеться як

$$(T_{1y}p^2 + T_{2y}p + 1)y = (k_{1y}p + k_{2y})\Delta y_1 + (k_{3y}p + k_{4y})\Delta y_2 + k_{5y}F_B, \quad (11)$$

де T_{1y} та T_{2y} – постійні часу; k_{1y} , k_{2y} , k_{3y} , k_{4y} та k_{5y} – коефіцієнти посилення.

$$T_{1y} = \frac{M}{c_1 + c_2}. \quad (12)$$

$$T_{2y} = \frac{p_1 + p_2}{c_1 + c_2}. \quad (13)$$

$$k_{1y} = \frac{p_1}{c_1 + c_2}. \quad (14)$$

$$k_{2y} = \frac{c_1}{c_1 + c_2}. \quad (15)$$

$$k_{3y} = \frac{p_2}{c_1 + c_2}. \quad (16)$$

$$k_{4y} = \frac{c_2}{c_1 + c_2}. \quad (17)$$

$$k_{5y} = \frac{1}{c_1 + c_2}. \quad (18)$$

З рівняння (11) бачимо, що на вертикальну координату остова розпушувального агрегату впливають зміни вертикальних координат мікрорельєфу під передньою Δy_1 та правою Δy_2 напівгусеницями і вертикальна складова опору ґрунту на робочому органі F_B . Використовуючи принцип суперпозицій, отримуємо наступні передавальні функції:

$$W_y^{\Delta y_1} = \frac{y(p)}{\Delta y_1(p)} = \frac{k_{1y}p + k_{2y}}{T_{1y}p^2 + T_{2y}p + 1}; \quad (19)$$

$$W_y^{\Delta y_2} = \frac{y(p)}{\Delta y_2(p)} = \frac{k_{3y}p + k_{4y}}{T_{1y}p^2 + T_{2y}p + 1}; \quad (20)$$

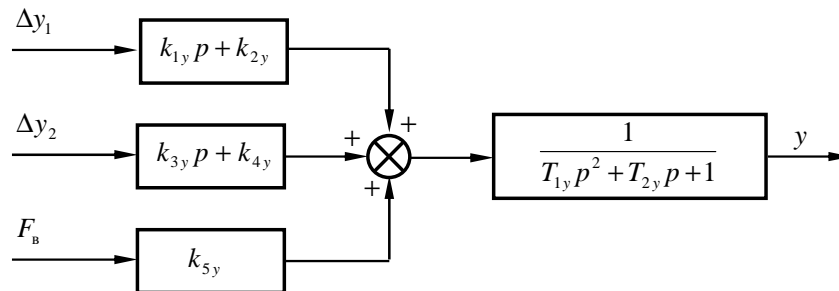


Рис. 2. Структурна схема вертикальних переміщень остову розпушувального агрегату

Fig. 2. Flow diagram of the vertical moving of frame of burster aggregate

$$W_y^{F_B} = \frac{y(p)}{F_B(p)} = \frac{k_{5y}}{T_{1y}p^2 + T_{2y}p + 1}. \quad (21)$$

Вирази (19) – (21) дозволяють представити математичну модель вертикальних переміщень остову від дії мікрорельєфу у вигляді структурної схеми, зображеної на рис. 2.

Моменти сил, що діють на остов від пружних і демпфірувальних елементів,

$$M_{ci} = c_i \cdot y_i \cdot r_i; \quad (22)$$

$$M_{pi} = p_i \cdot \frac{dy_i}{dt} \cdot r_i, \quad (23)$$

де r_i – відстань від центра тяжіння до центру i -ої напівгусениці.

Для обертальних рухів остову

$$y_i = r_i \phi + \Delta y_i. \quad (24)$$

З урахуванням виразу (24) отримаємо

$$\sum_{i=1}^2 M_{ci} = -c_1 \cdot (r_1 \cdot \phi + \Delta y_1) + c_2 \cdot (r_2 \cdot \phi + \Delta y_2). \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^2 M_{pi} = -p_1 \cdot \frac{d(r_1 \cdot \phi + \Delta y_1)}{dt} + p_2 \cdot \frac{d(r_2 \cdot \phi + \Delta y_2)}{dt}. \quad (26)$$

Після підстановки виразів (25) і (26) в рівняння (4) і виконання деяких перетворень отримаємо наступне рівняння:

$$(J_3 + J'_3) \frac{d^2 \phi}{dt^2} + (p_2 \cdot r_2^2 - p_1 \cdot r_1^2) \frac{d\phi}{dt} + (c_2 \cdot r_2^2 - c_1 \cdot r_1^2) \phi = -(p_1 \cdot r_1 \cdot \frac{d\Delta y_1}{dt} + c_1 \cdot r_1 \cdot \Delta y_1) + (p_2 \cdot r_2 \cdot \frac{d\Delta y_2}{dt} + c_2 \cdot r_2 \cdot \Delta y_2) + M_{Fpo}. \quad (27)$$

У операторному вигляді рівняння (27) запишеться як

$$(T_{1\phi}p^2 + T_{2\phi}p + 1)\phi = -(k_{1\phi}p + k_{2\phi})\Delta y_1 + (k_{3\phi}p + k_{4\phi})\Delta y_2 + k_{5\phi}M_{Fpo}, \quad (28)$$

де $T_{1\phi}$ та $T_{2\phi}$ – постійні часу; $k_{1\phi}$, $k_{2\phi}$, $k_{3\phi}$, $k_{4\phi}$ та $k_{5\phi}$ – коефіцієнти посилення.

$$T_{1\phi} = \frac{J_{pa}}{c_2 \cdot r_2^2 - c_1 \cdot r_1^2}. \quad (29)$$

$$T_{2\phi} = \frac{p_2 \cdot r_2^2 - p_1 \cdot r_1^2}{c_2 \cdot r_2^2 - c_1 \cdot r_1^2}. \quad (30)$$

$$k_{1\phi} = \frac{p_1 \cdot r_1}{c_2 \cdot r_2^2 - c_1 \cdot r_1^2}. \quad (31)$$

$$W_{\phi}^{\Delta y_1} = \frac{\phi(p)}{\Delta y_1(p)} = \frac{k_{1\phi}p + k_{2\phi}}{T_{1\phi}p^2 + T_{2\phi}p + 1}; \quad (36)$$

$$W_{\phi}^{\Delta y_2} = \frac{\phi(p)}{\Delta y_2(p)} = \frac{k_{3\phi}p + k_{4\phi}}{T_{1\phi}p^2 + T_{2\phi}p + 1}; \quad (37)$$

$$W_{\phi}^{M_{Fpo}} = \frac{\phi(p)}{M_{Fpo}(p)} = \frac{k_{5\phi}}{T_{1\phi}p^2 + T_{2\phi}p + 1}. \quad (38)$$

Вирази (36) – (38) дозволяють представити математичну модель кутових коливань остову від дії мікрорельєфу у вигляді структурної схеми (рис.3).

Для визначення зміни положення робочого органа залежно від переміщень остову розпушувального агрегату можна скористатися методикою Кузина Е.Н. [9]. На розрахунковій схемі (рис. 4) NM – остов у вигляді жорсткого відрізка; k – точка пере-

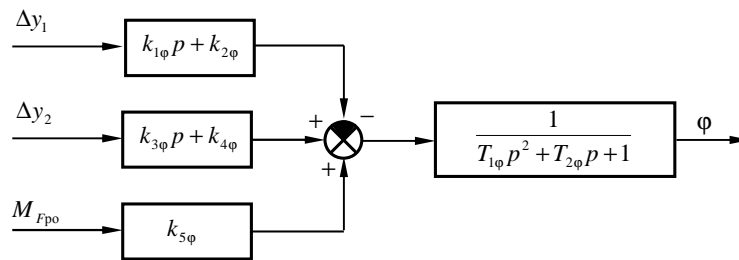


Рис. 3. Структурна схема кутових переміщень остову розпушувального агрегату

Fig. 3. Flow diagram of the angular moving of frame of burster aggregate

$$k_{2\phi} = \frac{c_1 \cdot r_1}{c_2 \cdot r_2^2 - c_1 \cdot r_1^2}. \quad (32)$$

$$k_{3\phi} = \frac{p_2 \cdot r_2}{c_2 \cdot r_2^2 - c_1 \cdot r_1^2}. \quad (33)$$

$$k_{4\phi} = \frac{c_2 \cdot r_2}{c_2 \cdot r_2^2 - c_1 \cdot r_1^2}. \quad (34)$$

$$k_{5\phi} = \frac{1}{c_2 \cdot r_2^2 - c_1 \cdot r_1^2}. \quad (35)$$

З рівняння (28) бачимо, що на кутові коливання остову розпушувального агрегату впливають зміни вертикальних координат мікрорельєфу під передньою Δy_1 та правою Δy_2 напівгусеницями і момент від реакції ґрунту на робочий орган M_{Fpo} .

Використовуючи принцип суперпозицій, отримуємо наступні передавальні функції:

кидання; L_6 – база розпушувального агрегату; $L_{цт}$ – відстань від точки N до точки перекидання; xNy – рухома система координат, вісь Ny проходить через вісь передньої зірочки, а вісь Nx – через центр тягіння остова; $P(x_{po}, y_{po})$ – координати точки прикладення сил опору розпушуванню; XOY – нерухома система координат, в якій рухається розпушувальний агрегат.

Представимо зміни положення робочого органа залежно від переміщень остову у вигляді динамічної ланки, входом якої є зміна вертикальної координати центру тягіння остову Δy , а виходом – зміна положення робочого органа Δy_{po} . Передавальна функція такої ланки визначається як відношення [10]:

$$W_{Ypo}(p) = \frac{L[Y_{po}(X)]}{L[Y(X)]}, \quad (39)$$

де L – символ перетворення Лапласа.

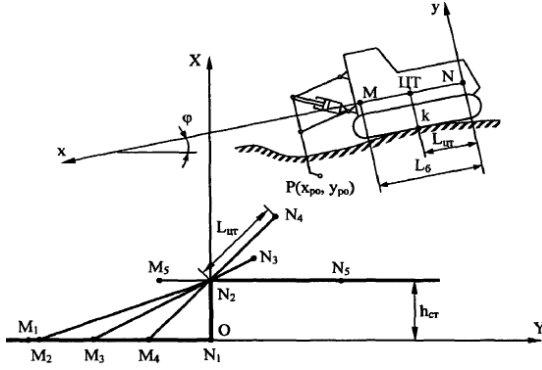


Рис. 4. Розрахункова схема для визначення зміни положення робочого органа залежно від переміщень остову

Fig. 4. A calculation chart is for determination of change of position of working organ depending on moving of frame

Для виконання перетворення Лапласа прийемо $Y(X)$ у вигляді ступінчастої функції з висотою ступеня $h_{ст}$ і розглянемо залежність $Y_{po}(X)$ при подоланні розпушувальним агрегатом такої перешкоди. Під час цього враховуємо, що в практичних умовах $h_{ст}$ набагато менше бази L_6 і кут повороту остову дуже малий, так що $\sin \varphi = \varphi$, $\cos \varphi = 1$. У зв'язку з цим нехтуємо відносними горизонтальними зміщеннями точок відрізка MN і точки перекидання.

$$Y_{po} = Y_N - y_{po} - x_{po} \cdot \varphi. \quad (40)$$

У початковому положенні (M_1N_1)

$$X = 0, Y_M = Y_N = 0, \varphi = 0; \quad (41)$$

$$Y_{po} = y_{po}. \quad (42)$$

При подальшому русі точка N переміщується по вертикальній ділянці ступінчастої функції, а точка M переміщується по осі OX . У положенні M_2N_2 прийемо

$$X = 0, Y_M = 0, Y_N = h_{ст}, \varphi = h_{ст} / L_6; \quad (43)$$

$$Y_{po} = y_{po} + h \left(1 - \frac{x_{po}}{L_6} \right). \quad (44)$$

В інтервалі $0 < X < L_{цт}$ положення остову характеризується відрізком M_3N_3 , при цьому

$$Y_M = 0, Y_N = \frac{h_{ст} \cdot L_6}{L_6 - X}, \varphi = \frac{h_{ст}}{L_6 - X}; \quad (45)$$

$$Y_{po} = y_{po} + h \frac{L_6 - x_{po}}{L_6 - X}. \quad (46)$$

У момент суміщення X з точкою k (M_4N_4) починається перекидання розпушувального агрегату. Положення робочого органа визначається підстановкою в рівняння (45) виразу $X = L_{цт}$. Перекидання закінчується новим положенням M_5N_5 :

$$X = L_{цт}, Y_M = Y_N = h_{ст}, \varphi = 0; \quad (47)$$

$$Y_{po} = y_{po} + h_{ст}. \quad (48)$$

Після виконання перетворення Лапласа (39) з урахуванням виразів (42), (44), (46) та (48), отримуємо наступну передавальну функцію:

$$\begin{aligned} W_{Y_{po}}(p) &= \frac{\Delta y_{po}(p)}{\Delta y(p)} = \\ &= k_{1po} + \frac{k_{2po}}{p} (1 - e^{-\tau_{po}p}) - k_{3po} e^{-\tau_{po}p}, \end{aligned} \quad (49)$$

де Δy_{po} – зміна вертикальної координати робочого органа від некерованих переміщень остову; Δy – зміна вертикальної координати центру тяжіння розпушувача від дії мікрорельєфу на ходове обладнання; k_1 , k_2 і k_3 – коефіцієнти посилення; τ_{po} – час запізнювання.

$$k_{1po} = \frac{L_6 - x_{po}}{L_6}. \quad (50)$$

$$k_{2po} = \frac{L_6 - x_{po}}{L_6(L_6 - L_{цт})}. \quad (51)$$

$$k_{3po} = \frac{L_{цт} - x_{po}}{L_6 - L_{цт}}. \quad (52)$$

$$\tau_{po} = \frac{L_{цт}}{v_{тр}}. \quad (53)$$

Передавальна функція (49) дозволяє представити математичну модель зміни положення робочого органа розпушувача залежно від переміщень остову у вигляді структурної схеми (рис. 5).

Загальна математична модель дії мікрорельєфу на некеровані переміщення робочого органа може бути представлена у вигляді структурної схеми, яка зображена на рис. 6.

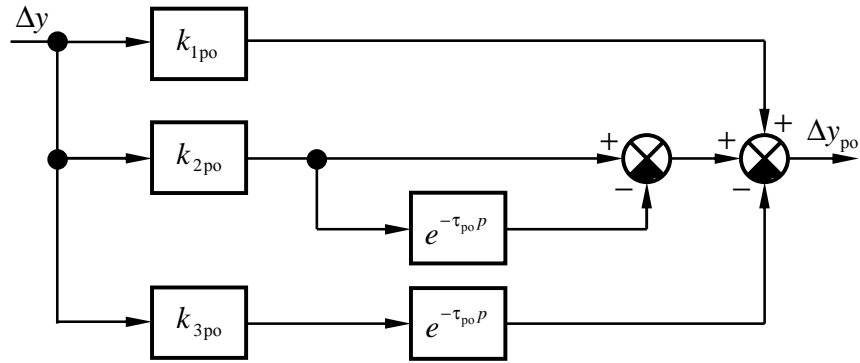


Рис. 5. Структурна схема моделі зміни положення робочого органа залежно від переміщень остову

Fig. 5. A flow diagram of model of change of position of working organ is depending on moving of frame

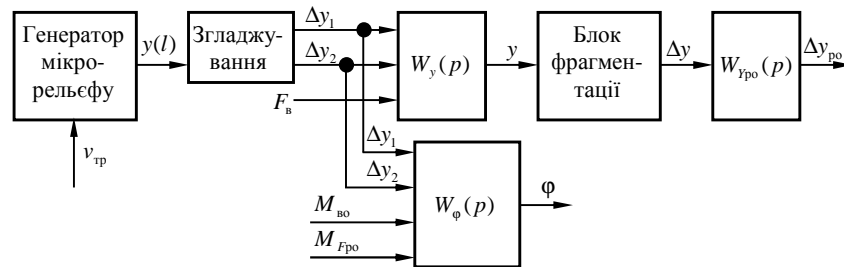


Рис. 6. Структурна схема математичної моделі дії мікрорельєфу на некеровані переміщення робочого органа

Fig. 6. A flow diagram of mathematical model of action of microrelief is on out of control moving of working organ

Структурна схема є математичною моделлю процесу дії мікрорельєфу на некеровані переміщення робочого органа розпушувального агрегату, які викликають зміну глибини розпушування, а ,отже, і зміну моменту опору, прикладеного до валу двигуна. Мікрорельєф генерується по кореляційній функції (1), згладжуюча здатність гусениць враховується у виразі (2).

Отримані передавальні функції вертикальних (19) – (21) і кутових (36) – (38) переміщень центру тяжіння остову дозволяють враховувати пружно-в'язкі властивості підвіски [11...14].

Передавальна функція (49) враховує зміну положення робочого органа розпушувача при зміні положення центру тяжіння остову.

ВИСНОВКИ

Запропонована в роботі математична модель впливу реакції ґрунту при копанні на некеровані переміщення робочого органа є сумою низькочастотних і високочастотних коливань, що становлять реакції ґрунту на робочі органи розпушувача.

У математичній моделі підсистеми “Остов – навісне устаткування” враховується згладжуюча здатність гусеничного рушія, а також вплив жорсткості підвіски на некеровані переміщення робочого органа розпушувача.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зеленин А.Н. Машины для земляных работ / А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, И.П. Керов. – М.: Машиностроение. 1975. – 424 с.
2. Горбатюк Є.В. Створення робочого органу

- землерийної машини з орієнтованими потоками виносу ґрунту: Дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.04. – Машини для земляних та дорожніх робіт / Є.В. Горбатюк – К.: КНУБА. 2006. – 180 с.
3. *Щербаков Е.С.* Исследование неуправляемых перемещений рыхлительного агрегата с целью повышения эффективности разработки мерзлых грунтов: Дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.04. – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины / Е.С. Щербаков. – М.: МАДИ. 1980.– 207 с.
 4. *Горбатюк Є.В.* Аналіз тенденцій розвитку розпушуючих агрегатів / Є.В. Горбатюк, Т.В. Шевченко // Техніка будівництва: науково-технічний журнал, – К.: КНУБА. – Вип. 21. 2008.– С. 5-10.
 5. *Toshov J. B.* Questions modeling of dynamics of drilling tools on the bottom hole. / J. B. Toshov, M. K. Shukurov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 2014. 1-2 (1). – pp. 116-122.
 6. *Road and Bridge Construction Equipment* – Satya Narayan Shah: B.Sc. In Mechanical Engineering (India) MS in Manufacturing Engineering & Management (UK), January, 2012. 1 – 112 p.
 7. *Беляев В.В.* Повышение точности планировочных работ автогрейдерами с дополнительными опорными элементами рабочего органа: Дис. ... канд. техн. наук / В.В. Беляев. – Омск. 1987.– 230 с.
 8. *Щербаков В.С.* Научные основы повышения точности работ, выполняемых землеройно-транспортными машинами: Дис. ... докт. техн. наук / В.С. Щербаков. – Омск, 2000. СибАДИ. – 416 с.
 9. *Кузин Э.Н.* Повышение эффективности землеройных машин непрерывного действия на основе увеличения точности позиционирования рабочего органа: Дис. ... докт. техн. наук / Э.Н. Кузин. – М.: ВНИИСДМ. 1984.– 443 с.
 10. *Pirmatov S.T.* Necessary conditions of summability of spectral expansion on eigenfunction of the operator laplace. European science review, «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 2015. 5-6 (3), – pp. 29-32.
 11. *Сукач М.К.* Синтез землерийної і дорожньої техніки: Підручник / М.К. Сукач, Є.В. Горбатюк, О.А. Марченко. – К.: Ліра-К. 2013.– 376 с.
 12. *Сукач М.* Исследование и разработка глубоководной добычной техники // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – Київ, 2013. – №82. – С. 65-73.
 13. *Горбатюк Є.В.* Силові та енергетичні показники процесу транспортування ґрунту скребковим ґрунтоприбирачем // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Всеукр. збірник наукових праць. – Київ, 2009. – №74. – С. 78-82.
 14. *Пелевін Л.* Синергетичний характер взаємодії адаптаційних технічних систем з робочим середовищем / Л. Пелевін, А. Фомін, О. Костенюк, О. Тетерятник, Г. Боковня // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Всеукр. збірник наукових праць. – Київ, 2013. – №82. – С. 70-79.

REFERENCES

1. *Zelenin A.N., Balovnev V.I., Kerov I.P., 1975.* Mashiny dlja zemljanyh rabot [Machines for earthmovings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 424. – (in Russian).
2. *Gorbatjuk E.V., 2006.* Stvorennja robochogo organu zemlerijnoj mashini z orientovanimi potokami vinosu gruntu [Creation of working organ of earthmover is with the oriented streams of bearing-out of soil]. Kyiv, KNUBA, Dis. kand. tehn. nauk, 180. – (in Ukrainian).
3. *Shherbakov E.S., 1980.* Issledovanie neupravljajemyh peremeshhenij ryhlitel'nogo agregata s cel'ju povyshenija jeffektivnosti razrabotki merzlyh gruntov [Research of out of control moving of burster aggregate with the purpose of increase of efficiency of development of the frozen soils]. Moscow, MADI, Dis. kand. tehn. Nauk, 207. – (in Russian)
4. *Gorbatjuk E.V., Shevchenko T.V., 2008.* Analiz tendencij rozvitku rozpushujuchih agregativ [Analysis of progress of loosening aggregates trends]. Tehnika budivnictva: naukovotekhnichnij zhurnal [Building technique: scientific and technical magazine], No.21, Kyiv, KNUCA, 5-10. – (in Ukrainian).
5. *Toshov J. B., Shukurov M.K., 2014.* Questions modeling of dynamics of drilling tools on the bottom hole. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna, 1-2 (1), 116-122.
6. *Road and Bridge Construction Equipment, 2012.* Satya Narayan Shah: B.Sc. In Mechanical Engineering (India) MS in Manufacturing

- Engineering & Management (UK), January, 1, 112.
7. *Beljaev V.V., 1987.* Povyshenie tochnosti planirovochnyh robot avtogrejderami s dopolnitel'nymi opornymi jelementami rabocheho organa [Increase of exactness of plan works by motor-graders with the additional supporting elements of working organ]. Omsk, Dis. kand. tehn. nauk, 230. – (in Russian).
 8. *Shherbakov V.S., 2000.* Nauchnye osnovy povyshenija tochnosti robot, vypolnjaemyh zemlerojno-transportnymi mashinami [Scientific bases of increase of exactness of works executable earth-moving-transport machines]. Omsk, SibADI, Dis. dokt. tehn. Nauk, 416. – (in Russian).
 9. *Kuzin Je.N., 1984.* Povyshenie jeffektivnosti zemlerojnyh mashin nepreryvnogo dejstvija na osnove uvelichenija tochnosti pozicionirovanija rabocheho organa [Increase of efficiency of earthmovers of continuous action on the basis of increase of exactness of positioning of working organ]. Moscow, VNIISDM, Dis. dokt. tehn. Nauk, 443. – (in Russian).
 10. *Pirmatov S. T., 2015.* Necessary conditions of summability of spectral expansion on eigenfunction of the operator laplace. European science review, «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 5-6 (3), 29-32.
 11. *Sukach M.K., Gorbatjuk E.V., Marchenko O.A., 2013.* Sintez zemlerijnoï i dorozhn'oi tehniky [Synthesis of earth-moving and travelling technique]. Kyiv, Lira-K Publ., 376. – (in Ukrainian).
 12. *Sukach M., 2013.* Issledovanie i razrabotka glubokovodnoj dobychnoj tehniky [Research and development of deep seabed mining technology]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and melioration machines], No.82, 65-73. – (in Ukrainian).
 13. *Gorbatjuk E.V., 2009.* Silovi ta energetichni pokazniki procesu transportuvannja gruntu skrebkovim gruntopribirachem [Power and energy characteristics of the process of transportation of soil the scraper soil cleaner]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], No.74, 78-82. – (in Ukrainian).
 14. *Pelevin L., Fomin A., Kostenyuk A., Teteryatnik A., Bokovnya G., 2013.* Synergetic character of interaction adaptation the technical systems with working environment. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], No.82, 70-79. – (in Ukrainian).