

*Горбатюк Є.В., к.т.н., доцент
Київський національний університет будівництва та архітектури
Горбатюк М.Є.
гімназія «Академія», м. Київ*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДІЇ МІКРОРЕЛЬЄФУ НА НЕКЕРОВАНІ ПЕРЕМІЩЕННЯ РОБОЧОГО ОРГАНА РОЗПУШУВАЧА

Відомо, що найбільш ефективним способом руйнування мерзлих і скельних ґрунтів з точки зору продуктивності машин і собівартості розробки ґрунту є горизонтальне пошарове розпушування навесними розпушувачами на базі потужних тракторів. Один із шляхів підвищення ефективності розпушувального агрегату – удосконалення його системи керування.

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

Запропонована в роботі математична модель ураховує згладжуючу здатність гусеничного рушія, а також вплив жорсткості підвіски на некеровані переміщення робочого органа розпушувача.

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

*Горбатюк Е.В., к.т.н., доцент
Киевский национальный университет строительства и архитектуры
Горбатюк М.Е.
гимназия «Академия», г. Киев*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА НА НЕУПРАВЛЯЕМЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА РЫХЛИТЕЛЯ

Известно, что наиболее эффективным способом разрушения мерзлых и скальных ґрунтов с точки зрения производительности машин и себестоимости разработки ґрунта является горизонтальное послойное рыхление навесными рыхлителями на базе мощных тракторов. Один из путей повышения эффективности рыхлительного агрегата – усовершенствование его системы управления.

В связи с этим необходимо разработать математическую модель процесса действия микрорельефа на неуправляемые перемещения рабочего органа рыхлительного агрегата, которые вызывают изменение глубины рыхления.

Предложенная в работе математическая модель учитывает сглаживающую способность гусеничного движителя, а также влияние жесткости подвески на неуправляемые перемещения рабочего органа.

Ключевые слова: *рыхлитель, ґрунт, рельеф, математическая модель.*

Gorbatiuk I., PhD, Associate Professor
Kyiv National University of Construction and Architecture
Gorbatiuk M.
gymnasium «Academy», Kyiv

MATHEMATICAL MODEL OF ACTION OF MICRORELIEF ON OUT OF CONTROL MOVING OF WORKING ORGAN OF RIPPER

In connection with that the frozen and rocky soils have an increase durability their development is impossible earthmovers without previous treatment sent to the decline of resistance of soil to his further development.

Different methods are presently used developments of the frozen and rocky soils, basic from that boring-blasting works and loosening of soil by hanging rippers.

The most effective method of destruction of the frozen and rocky soils from the point of view of the productivity of machines and prime price of development of soil is the horizontal layer loosening by hanging rippers on the base of powerful tractors. One of ways of increase of efficiency of burster aggregate there is an improvement of his control system.

Loosening of soil provides the cost cutting on the ton of products, assists upgrading of products and is a less danger for an environment as compared to implementation of earthmovings by a boring-blasting method.

Efficiency of burster aggregate largely depends on the rational modes of operations of power-plant. The systems are managements that is mass-produced on this time, devices of indication, and also slow reaction of man-operator on the terms of working process, that change quickly, does not allow to a full degree to use the hauling-coupling internals of machine.

In the process of work of burster aggregate him a working equipment co-operates with soil that causes out of control transferring of worker of organ to space, and, thus, and change of depth of loosening that results in the change of reaction of soil on a worker.

The choice of model of co-operation of working equipment of burster aggregate with soil is based on next pre-conditions: determination of the linear and angular moving of burster aggregate in two-dimensional space, taking into account of resiliently-viscid properties of pendant and deformity of soil, and also taking into account of action of force of reaction of soil on moving of frame.

The aim of work is an increase of efficiency of burster aggregate by the improvement of his control system.

In this connection it is necessary to work out the mathematical model of process of action of microrelief on out of control moving of working organ of burster aggregate, that cause the change of depth of loosening.

The mathematical model of influence of reaction of soil offered in-process at digging on out of control moving of working organ is a sum low-frequency and high-frequency that present the reactions of soil on the working organs of ripper.

In the mathematical model of subsystem «Frame – a hanging equipment» is taken into account the smoothed ability of caterpillar rendering-engine, and also influence of inflexibility of pendant on out of control moving of working organ of ripper.

Keywords: ripper, soil, relief, mathematical model.

Вступ. Інтенсивне освоєння родовищ корисних копалини, їх транспортування і будівництво нафто- і газопроводів неможливі без сучасної землерийної техніки, здатної розробляти міцні, мерзлі та скельні ґрунти.

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

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. У зв'язку з тим, що мерзлі та скельні ґрунти мають підвищену міцність, їх розробка землерийними машинами неможлива без попередньої обробки, спрямованої на зниження опору ґрунту при подальшій його розробці.

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 і скельних ґрунтів з точки зору продуктивності машин та собівартості розробки ґрунту є горизонтальне пошарове розпушування навісними розпушувачами на базі потужних тракторів. У 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 та є меншою небезпекою для довкілля порівняно з виконанням земляних робіт буропідривним методом.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. 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.

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

Постановка завдання. Актуальною є проблема подальшого вдосконалення систем управління розпушувальних агрегатів, що частково або повністю виключає людину-оператора з контурів управління двигунів внутрішнього згорання і положення 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 таких передумовах: визначення лінійних і кутових переміщень розпушувального агрегату у двовимірному просторі, урахування пружно-в'язких властивостей підвіски та деформованості ґрунту, а також дії сили реакції ґрунту на переміщення остова.

Основний матеріал і результати дослідження. При складанні моделі взаємодії ходового обладнання з ґрунтом потрібно приймати такі допущення:

– пружно-в'язкі властивості ґрунту не враховуються внаслідок їх малості при роботі на мерзлих ґрунтах;

- впливи маси елементів підвіски на переміщення остова не враховуються;
- профіль шляху під обома гусеницями однаковий;
- катки мають постійний контакт із гусеницею;
- остов трактора й елементи навісного устаткування є абсолютно жорсткими;
- кут нахилу лінії дії опору розпушуванню при коливаннях остова не змінюється;
- вертикальне навантаження на ліву і праву гусениці однакові.

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

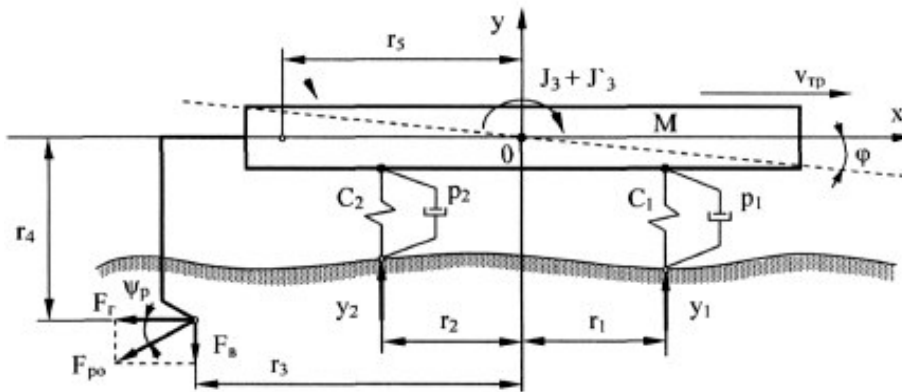


Рисунок 1 – Розрахункова схема моделі взаємодії ходового обладнання з ґрунтом

Мікрорельєф генерується за кореляційною функцією [7]

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

де σ – середньоквадратичне відхилення, для поздовжнього профілю приймається $\sigma = 0,015 \dots 0,08$ м, для поперечного профілю $\sigma = 0,05 \dots 0,28$ м;

α_i – параметри, що характеризують загасання кореляції, для поздовжнього профілю $\alpha = 1,4 \dots 2,8$ рад/с, для поперечного профілю $\alpha = 2,3 \dots 3,9$ рад/с;

β_i – параметри, які характеризують періодичність кореляції, для поздовжнього профілю $\beta = 1,0 \dots 1,5$ рад/с, для поперечного профілю $\beta = 1,2 \dots 3,6$ рад/с;

l – довжина ділянки.

Для врахування 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.

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

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

Умови рівноваги остова розпушувального агрегату на підставі принципу Даламбера

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

де M – маса підресореної частини трактора;

F_{ci} – сила, що діє на остов від пружного елемента i -ої напівгусениці;

F_{pi} – сила, яка діє на остов від демпфуючого 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 остова трактора і робочого органа відносно поперечної осі, що проходить через центр тяжіння;

M_{ci} і M_{pi} – моменти відносно центра тяжіння від сил F_{ci} та F_{pi} ;

M_{Fpo} – момент відносно центра тяжіння від сили реакції ґрунту на робочий орган.

Сили, що діють на остов від пружних і демпфуючих 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 -ою напівгусеницею.

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

де Δy_i – зміна вертикальної координати під i -ою 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

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

В операторному виді рівняння (10) запишеться у вигляді

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

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 такі передатні функції:

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

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

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

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

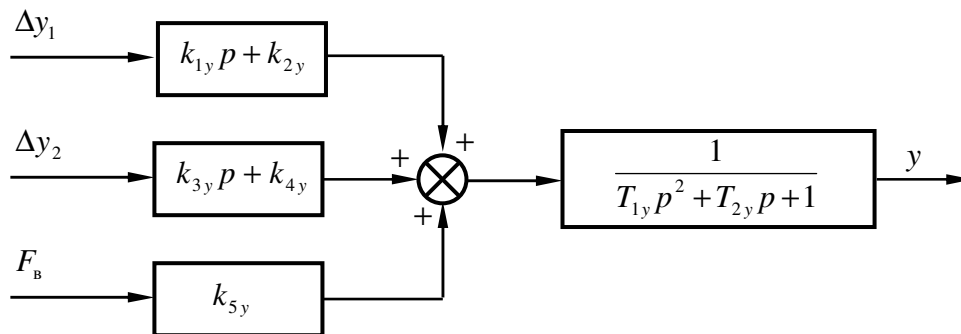


Рисунок 2 – Структурна схема вертикальних переміщень остова розпушувального агрегату

Моменти сил, що діють на остов від пружних і демпфуючих 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 центра i -ої напівгусениці.

Для обертальних рухів остова

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

З урахуванням виразу (24) отримаємо

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

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

Після підстановки виразів (25) і (26) у рівняння (4) і виконання деяких перетворень отримаємо таке рівняння:

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

В операторному виді рівняння (27) запишеться у вигляді

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

де $T_{1\varphi}$ та $T_{2\varphi}$ – постійні часу;

$k_{1\varphi}$, $k_{2\varphi}$, $k_{3\varphi}$, $k_{4\varphi}$ та $k_{5\varphi}$ – коефіцієнти посилення;

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

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

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

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

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

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

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

З рівняння (28) бачимо, що на кутові коливання остова 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 такі передатні функції:

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

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

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

Вирази (36) – (38) дозволяють представити математичну модель кутових коливань остова від дії мікрорельєфу у вигляді структурної схеми, яка зображена на рисунку 3.

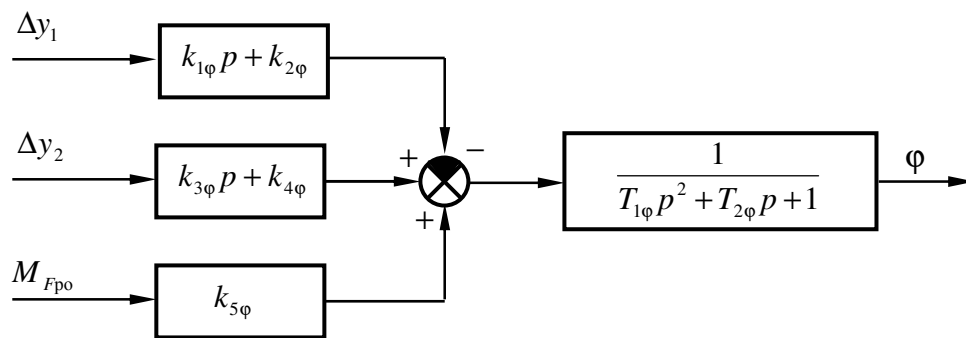


Рисунок 3 – Структурна схема кутових переміщень остова розпушувального агрегату

Для визначення зміни положення робочого органа залежно від переміщень остова розпушувального агрегату можна скористатися методикою Кузіна Е.М. [9]. На розрахунковій схемі, зображеній на рисунку 4: NM – острів у вигляді жорсткого відрізка; k – точка перекидання; L_0 – база розпушувального агрегату; $L_{ЦГ}$ – відстань від точки N до точки перекидання; xNy – рухома система координат, вісь Ny проходить через вісь передньої зірочки, а вісь Nx – через центр тяжіння остова; $P(x_{po}, y_{po})$ – координати точки прикладення сил опору розпушуванню; XOY – нерухома система координат, у якій рухається розпушувальний агрегат.

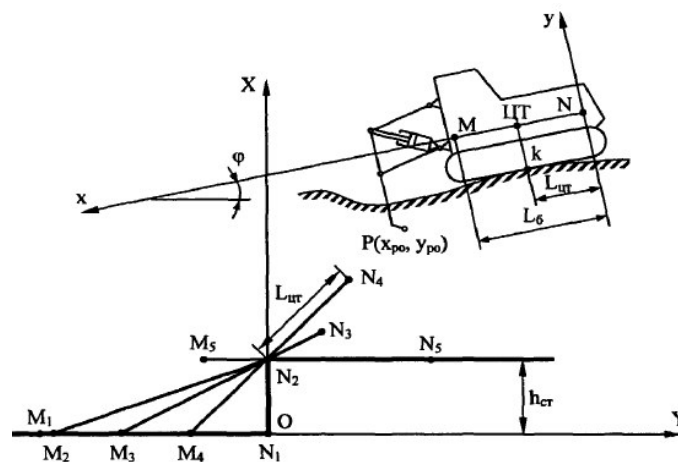


Рисунок 4 – Розрахункова схема для визначення зміни положення робочого органа залежно від переміщень остова

Представимо зміни положення робочого органа залежно від переміщень остова у вигляді динамічної ланки, входом котрої є зміна вертикальної координати центра тяжіння остова Δy , а виходом – зміна положення робочого органа Δy_{po} . Передатна функція такої ланки визначається як відношення [10]

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

де L – символ перетворення Лапласа.

Для виконання перетворення Лапласа прийемо $Y(X)$ у вигляді ступінчастої функції з висотою ступеня h_{CT} і розглянемо залежність $Y_{po}(X)$ при подоланні розпушувальним агрегатом такої перешкоди. Під час цього враховуємо, що в практичних умовах h_{CT} набагато менше бази L_6 та кут повороту остова дуже малий, так що $\sin \varphi = \varphi$, $\cos \varphi = 1$, у зв'язку із 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):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

де Δy_{po} – зміна вертикальної координати робочого органа від некерованих переміщень остова;

y – зміна вертикальної координати центра тяжіння розпушувача від дії мікрорельєфу на ходове обладнання;

k_1, k_2 і k_3 – коефіцієнти посилення;

τ_{po} – час запізнювання;

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

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

$$k_{3po} = \frac{L_{um} - x_{po}}{L_{\sigma} - L_{um}} ; \quad (52)$$

$$\tau_{po} = \frac{L_{um}}{v_{mp}} . \quad (53)$$

Передатна функція (49) дозволяє представити математичну модель зміни положення робочого органа розпушувача залежно від переміщень остова у вигляді структурної схеми, зображеної на рисунку 5.

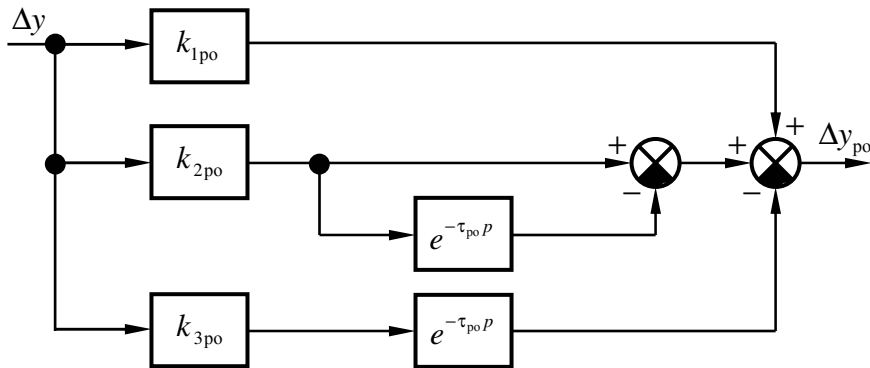


Рисунок 5 – Структурна схема моделі зміни положення робочого органа залежно від переміщень остова

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

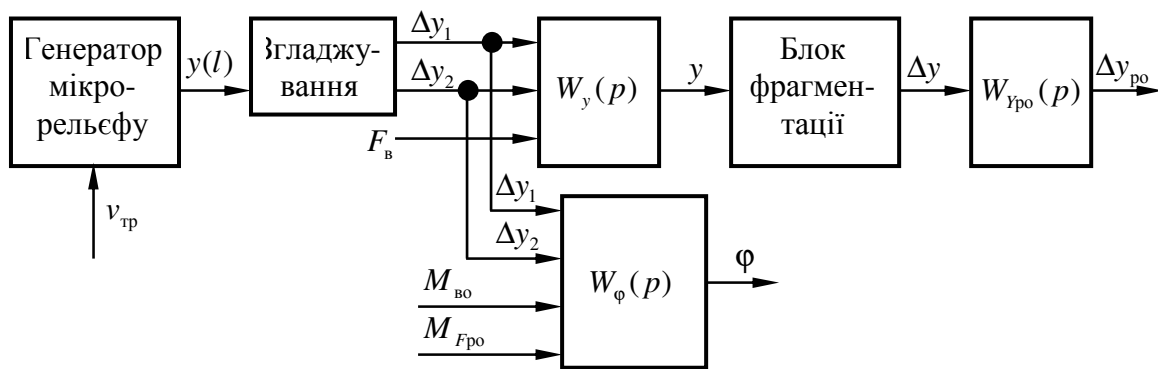


Рисунок 6 – Структурна схема математичної моделі дії мікрорельєфу на некеровані переміщення робочого органа

Структурна схема (рисунку 6) 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 вала двигуна. Мікрорельєф генерується по кореляційній функції (1), згладжуюча здатність гусениць урахується у виразі (2).

Отримані передатні функції вертикальних (19) – (21) і кутових (36) – (38) переміщень центра тяжіння остова дозволяють урахувати пружно-в'язкі властивості підвіски.

Передатна функція (49) враховує зміну положення робочого органа розпушувача при зміні положення центра тяжіння остова.

Висновки. Запропонована в роботі математична модель впливу реакції ґрунту при копанні на некеровані переміщення робочого органа є сумою низько- і височастотних функцій, 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 органа землерийної машини з орієнтованими потоками виносу ґрунту: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.04.* – *Машины для земляных 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 розпушувачів агрегатів* / Є. В. Горбатюк, Т. В. Шевченко // *Техніка будівництва: науково-техн. журнал.* – К. : КНУБА, 2008. – Вип. 21. – 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). – P. 116 – 122.
6. Shah S. N. *Road and Bridge Construction Equipment* / Satya Narayan Shah // *B.Sc. in Mechanical Engineering (India) MS in Manufacturing Engineering & Management (UK)*, – 2012. – P. 1 – 112.
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, СибАДИ, 2000. – 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* / S. T. Pirmatov // *European Science Review*, «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. – Vienna, 2015. – № 5 – 6 (3). – P. 29 – 32.
11. Сукач М. К. *Синтез землерийної і дорожньої технік* / М. К. Сукач, Є. В. Горбатюк, О. А. Марченко. – К. : Ліра-К, 2013. – 376 с.

© Горбатюк Є.В., Горбатюк М.С.
Надійшла до редакції 25.12.2015