РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.331.002.05

Рибак І. І., ст. викладач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ХОДОВОЇ СИСТЕМИ ФРЕЗЕРА З ТОРФОВИМ ПОКЛАДОМ

Розглянута методика імітаційного моделювання навантаження ходової системи промислового фрезера з урахуванням його конструктивних параметрів та геометрії торфового покладу.
Ключові слова: промисловий фрезер, торфові поклади.

Рассмотрена методика имитационного моделирования нагрузки ходовой системы промышленного фрезера с учетом его конструктивных параметров и геометрии залежей торфа.
Ключевые слова: промышленный фрезер, залежи торфа.

The considered method of imitation design of loading of the running gear system of industrial milling is taking into account his structural parameters and geometry of peat production field.
Keywords: industrial milling, peat production field.

Фрезерування торфового покладу – перша і основна операція технологічного циклу видобутку торфу фрезерним способом. Одним з факторів який впливає на якість фрезерування є навантаження ходової частини фрезера. Визначення навантаження ходової системи промислового фрезера при різноманітних умовах експлуатації дозволяє кількісно визначити силові параметри в залежності від його конструктивних параметрів та геометричних характеристик профілю технологічного майданчика та під час виконання транспортних переїздів. Розвиток сучасного машинобудування торфових машин вимагає на стадії проектування та експлуатації оцінити якість виконання технологічних операцій з видобутку торфу та визначити вплив окремих факторів взаємодії фрезера з торфовим покладом на його роботу [1].

Основним способом дослідження роботи промислових фрезерів з метою кількісного визначення його технологічних параметрів був натурний експеримент, що не дозволяло проаналізувати вплив великої кількості параметрів на його характеристики [2, 3]. Для визначення основних характеристик фрезера існують методи імітаційного моделювання, які базуються на статичних методах аналізу взаємодії його з торфовим покладом.

Ці методи не враховують динамічні зусилля, які виникають при русі технологічних машин по нерівній поверхні. Запропонована в роботі [4] модель імітаційного моделювання взаємодії фрезера, при транспортному пересуванні, з торфовим покладом не враховує його взаємодію з трактором-тягачем.

З впровадженням енергонасичених колісних тракторів при виконання технологічної операції фрезеруванні торфового покладу приводить до зростання поступальних швидкостей, і як наслідок до збільшення динамічного навантаження на ходову систему фрезера.

Розробка імітаційної моделі взаємодії фрезера з торфовим покладом з урахуванням його конструктивних особливостей та взаємодії з трактором дозволить кількісно оцінити динамічне навантаження ходової системи.

Фрезерний барабан спрощено представляється у вигляді двох основних компонентів: – рами з додатковим обладнанням (1), на якій встановлюється фреза (2), передні (3) та задні (4) опорні катки; – зчепу (5) для з'єднання з трактором (рис. 1). Точка з'єднання (А) зчепа з трактором рухається паралельно поверхні технологічної площадки на відстані *hs*, що відповідає висоті причіпного пристрою трактора. Зчеп з'єднується з рамою в точці (*B*), приймаємо що трактор рухається з постійною швидкістю. Профіль поверхні карти представляється в нерухомій системі координат xo_0y, а для визначення руху фрезерного барабана рухомі системи координат: системи $x_1^2oy_1^2$ та $x_2^2o_3y_2^2$ жорстко зв'язані з рамою та зчепом; системи $x_1^1oy_1^1$ та $x_2^1o_3y_2^1$ рухаються паралельно системі xo_0y.

Поверхня покладу моделюється у відповідності до статистичних характеристик профілю[2,3] та приставляється в вигляді ряду Фур'є [5]. Крок Δx_1 дискретизації абсциси повздовжнього профілю постійний.

$$f(x)=\frac{a_0}{2}+\sum_{j=1}^{M}a_j\cos\left(\frac{\pi\cdot j}{L}x\right), \qquad (1)$$

де a_0, a_j – коефіцієнти ряду Фур'є; L – довжина технологічного майданчика з видобутку фрезерного торфу, м; x – абсциса повздовжнього профілю технологічного майданчика, м; M – число членів ряду Фур'є. Для оцінки навантажень при виконанні транспортних переїздів дана модель допускає моделювання окремої перешкоди, або повздовжнього профілю доріг і зі змінним кроком дискретизації.

При моделюванні взаємодії фрезера з торфовим покладом допускається що поверхня покладу абсолютна жорстка, фреза знаходиться в транспортному положенні, опорні катки при русі не відриваються від поверхні покладу, масою та моментом інерції зчепу нехтуємо.

В основі імітаційної моделі є алгоритм обчислення кутів повороту, куто-

вих швидкостей, кутових прискорень фрезера та зчепу і лінійних прискорень рами фрезерного барабана, а також кутів контакту опорних катків з торфовим покладом. Ці значення обчислювались чисельними методами з урахуванням конструктивних параметрів фрезера та профілю поверхні.

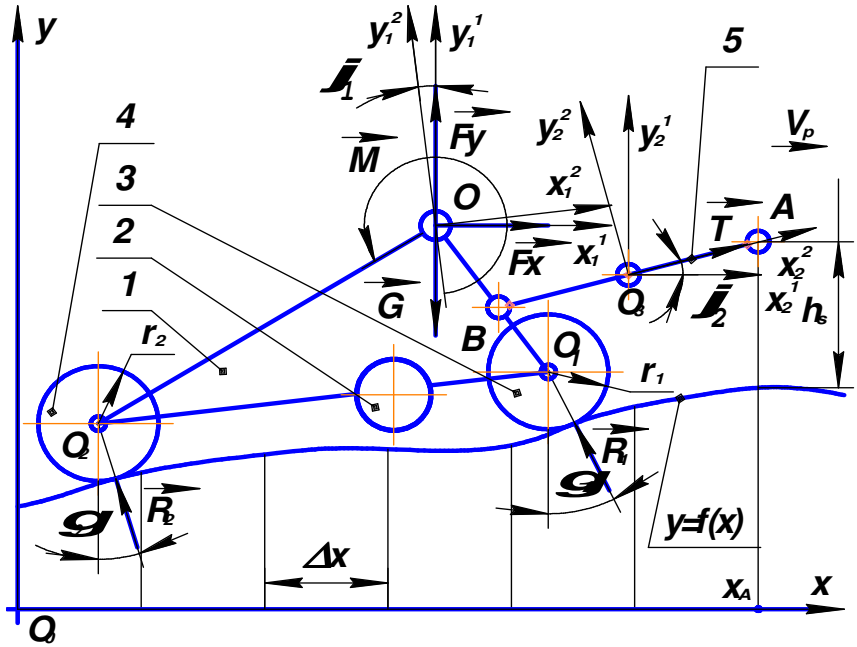

Рис. 1. Спрощена еквівалентна схема імітаційної моделі фрезера

Прискорення центру мас та кути контакту опорних катків визначались для всіх послідовних положень фрезера від того що точка з'єднання зчепу співпадала з першою абсцисою профілю, до того що вказана точка співпадала з останньою абсцисою профілю, з кроком дискретизації Δx профілю поверхні карти. Профіль поверхні технологічного майданчика за межами його довжини приймався горизонтальний для якого $f_1(x) = 0.5 \cdot a_0$. Кроки дискретизації при моделюванні поверхні карти та при розрахунку взаємодії фрезера з покладом не обов'язково однакові. Приймається, що поступальна швидкість точки з'єднання зчепа з трактором постійна $V_A = const$ в межах реалізації процесу.

$$\begin{cases} hs + \sum_{j=1}^{M} a_j \cos\left(\frac{\pi \cdot j}{L} x_A\right) - \lambda_1 - \sum_{j=1}^{M} a_j \cos\left(\frac{\pi \cdot j}{L} \beta_1\right) = 0 \\ hs + \sum_{j=1}^{M} a_j \cos\left(\frac{\pi \cdot j}{L} x_A\right) - \lambda_2 - \sum_{j=1}^{M} a_j \cos\left(\frac{\pi \cdot j}{L} \beta_2\right) = 0 \\ \sin\gamma_1 + \cos\gamma_1 \sum_{j-0}^{M} a_j \frac{\pi \cdot j}{L} \sin\left(\frac{\pi \cdot j}{L} \beta_1\right) = 0 \\ \sin\gamma_2 + \cos\gamma_2 \sum_{j-0}^{M} a_j \frac{\pi \cdot j}{L} \sin\left(\frac{\pi \cdot j}{L} \beta_2\right) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\lambda_1 = L_3 \sin\varphi_2 - (x_1 - x_B)\sin\varphi_1 - (y_1 - y_B)\cos\varphi_1 + r_1 \cos\gamma_1 \ , \quad (3)$$

$$\lambda_2 = L_3 \sin\varphi_2 - (x_2 - x_B)\sin\varphi_1 - (y_2 - y_B)\cos\varphi_1 + r_2 \cos\gamma_2 \ , \quad (4)$$

$$\beta_1 = x_A - L_3 \cos\varphi_2 + (x_1 - x_B)\cos\varphi_1 + (y_1 - y_B)\sin\varphi_1 + r_1 \sin\gamma_1 , \quad (5)$$

$$\beta_2 = x_A - L_3 \cos\varphi_2 + (x_2 - x_B)\cos\varphi_1 - (y_2 - y_B)\sin\varphi_1 + r_2 \sin\gamma_2 , \quad (6)$$

де φ_1, φ_2 – кути повороту фрезера та зчепу навколо центрів мас; γ_1, γ_2 – кути контакту переднього та заднього катків; L_3 – довжина зчепу, м; hs – висота з'єднання зчепу з трактором-тягачем, м; r_1, r_2 – радіуси переднього та заднього катків, м; x_A – ордината з'єднання зчепу з трактором, м; x_1, x_2, x_B, y_1, y_2, y_B – координати центрів(O_1, O_2) опорних катків і точки B з'єднання фрезера зі зчепом в рухомій системі координат $x_1^2 o y_1^2$.

З геометричних співвідношень кути повороту фрезера та зчепу, а також кути контакту опорних катків з торфовим покладом визначаються з системи рівнянь(2).

Прискорення центру мас фрезера розраховуються за формулами

$$\ddot{x}_0 = L_3\left(\ddot{\varphi}_2 \sin\varphi_2 + \left(\dot{\varphi}_2\right)^2 \cos\varphi_2\right) + (x_B \sin\varphi_1 + y_B \cos\varphi_1)\ddot{\varphi}_1 + \\ + (x_B \cos\varphi_1 + y_B \sin\varphi_1)\left(\dot{\varphi}_1\right)^2 \quad (7)$$

$$\ddot{y}_0 = -\sum_{j=1}^{M} a_j \left(\frac{\pi \cdot j}{L}\right)^2 \cos\left(\frac{\pi \cdot j}{L} x_A\right) - L_3\left(\ddot{\varphi}_2 \cos\varphi_2 - \left(\dot{\varphi}_2\right)^2 \sin\varphi_2\right) - \\ - (x_B \cos\varphi_1 - y_B \sin\varphi_1)\ddot{\varphi}_1 + (x_B \sin\varphi_1 - y_B \cos\varphi_1)\left(\dot{\varphi}_1\right)^2 . \quad (8)$$

Реакції на опорні катки та зусилля в зчепі з урахуванням інерційних навантажень, конструктивних параметрів фрезера та геометрії покладу визначаються з системи рівнянь (9).

$$\begin{cases} \mu_1 R_1 + \mu_2 R_2 + \mu_3 T = J\ddot{\varphi}_1 \\ \cos(\gamma_1)\ R_1 + \cos(\gamma_2) + \sin(\varphi_2)T = m\left(\ddot{y}_0 + g\right) \\ \sin(\gamma_1)R_1 + \sin(\gamma_2)R_2 - \cos(\varphi_2)T = -m\ddot{x}_0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_1 = (x_1\cos\varphi_1 - y_1\sin\varphi_1 + r_1\sin\gamma_1)\cos\gamma_1 + \\ + (x_1\sin\varphi_1 + y_1\cos\varphi_1 - r_1\cos\gamma_1)\sin\gamma_1 \quad (10)$$

$$\mu_2 = (x_2\cos\varphi_1 - y_2\sin\varphi_1 + r_2\sin\gamma_2)\cos\gamma_2 + \\ + (x_2\sin\varphi_1 + y_2\cos\varphi_1 - r_2\cos\gamma_2)\sin\gamma_2 \quad (11)$$

$$\mu_3 = (x_B\cos\varphi_1 - y_B\sin\varphi_1)\sin\varphi_2 - (x_B\sin\varphi_1 + y_B\cos\varphi_1)\cos\varphi_2, \quad (12)$$

де R_1, R_2, T – реакції опорних котків і навантаження зчепу, Н, m – маса фрезера, кг; J – момент інерції фрезера, кгм^2.

В імітаційній моделі використовувались значення геометричних та інерційних параметрів фрезерного барабана МТФ-13М.

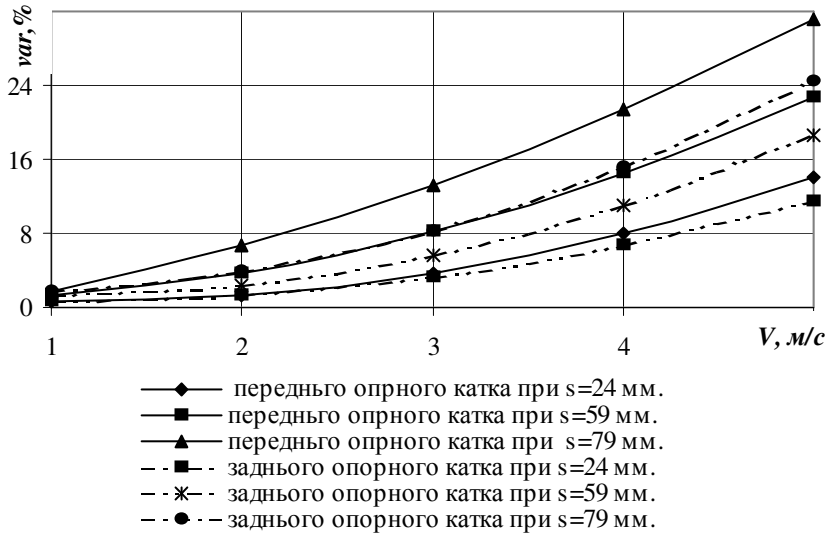

Рис. 2. Коефіцієнт варіації реакцій опорних катків фрезера при різних середньоквадратичних відхиленнях профілю поверхні

В якості оцінок впливу швидкості на навантаження ходової системи використовується коефіцієнт варіації (*var*) реакцій покладу на опорні катки та відношення розмаху навантаження до його середнього значення (K_i).

$$K_i = \frac{R_{i,\max} - R_{i,\min}}{R_{i,cp}} 100, \ \% \qquad i = 1,2 \qquad (13)$$

де $R_{i,max}$ – максимальне значення реакції покладу на i опорний каток в реалізації, Н; $R_{i,min}$ – мінімальне значення реакції покладу на i опорний каток в реалізації, Н; $R_{i,cp}$ – середнє значення реакції покладу на i опорний каток в реалізації, Н.

В процесі комп'ютерного експерименту для різних швидкостей пересування фрезера та різних профілів поверхні торфового покладу, які характеризувались середньоквадратичним відхиленням (s_j) профілю, були визначені коефіцієнти варіації навантаження на ходову систему (рис. 2) та відношення розмаху навантаження до його середнього значення (рис. 3).

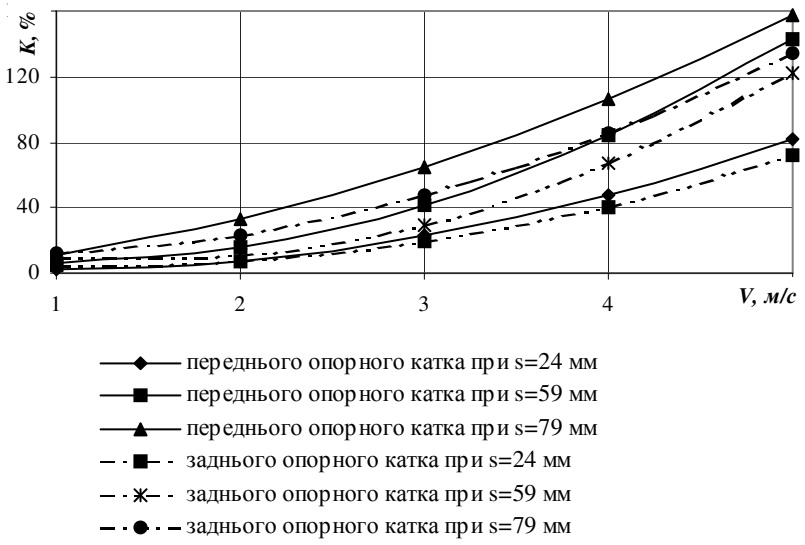

Рис. 3. Питомий розмах навантажень опорних катків фрезера при різних середньоквадратичних відхиленнях профілю поверхні

В результаті розрахунків видно, що коефіцієнт варіації навантаження ходової системи (рис. 2) при швидкості руху фрезера більше 3,5 м/с складає по-

над 10%, а параметр *К* (рис. 3) знаходиться в межах 30-80% і залежить від якості підготовки поверхні технологічної площадки. При розрахунку роботи фрезера з енергонасиченими тракторами на швидкості понад 3,5 м/с необхідно враховувати динамічні навантаження на ходову систему.

Викладена методика розрахунку навантажень на ходову систему промислового фрезера з урахуванням геометрії поверхні технологічного майданчика та його конструктивних параметрів дозволяє якісно та кількісно оцінити вплив швидкості на роботу машини.

1. Самсонов А. Н. Фрезерование торфяной залежи. М. : Недра, 1985. – С. 211. **2.** Куприянов В. К. Влияние элементов рельефа поверхности производственных площадей на технологические показатели добычи фрезерного торфа и совершенствование средств планировки. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Калинин, 1975. – С. 16. **3**. Синицын В. Ф. Имитационная модель обработки поверхности торфяной залежи фрезером. // Технология и комплексная механизация торфяного производства. Тверь, ТГТУ, 1997. – С. 156-160. **4**. Синицын В. Ф., Поприйчук Е. Ю. Математическая модель взаимодействия фрезера с торфяной залежью. // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и екологии. ТГТУ, 2006. – С. 25-27. **5.** Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М. : Наука, 1973. – С. 832.

Рецензент: к.т.н., доцент Гнєушев В. О. (НУВГП)