

зернівки крізь шар соломи, тобто знаходженню умов при яких зернівка потрапляє в соломину. Тоді ймовірність просіювання визначиться зі співвідношення [5].

$$P_{\text{прос}} = 1 - P, \quad (3)$$

де  $P_{\text{прос}}$  – ймовірність просіювання зерен через шар соломи,  $P$  – ймовірність непросіювання.

Висновки. При просіюванні зернівок крізь дві соломини, можливі кілька випадків, які обумовлені взаємним розташуванням соломин і відношенням розмірів зернівки до відстані між соломинами. Перший випадок – відстань між соломинками більше суми довжини зернівки і діаметра соломини, другий випадок – відстань між соломинами менше суми діаметра соломи і довжини зернівки і більше суми діаметрів соломини і зернівки і третій випадок – відстань між соломинами менше суми діаметра соломини і зернівки.

### Список використаних джерел

1. Кендол М. Геометрические вероятности: Пер. с англ. / М. Кендол, П. Моран. – М.: Мир, 1972. – 273 с.
2. Buffon G. Essai d'arithmetique morale. Supplement «l'histoire Naturelle», v. 4, 1977.
3. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 1 / В. Феллер. – М.: Мир, 1964. – 498 с.
4. Uspensky J. V. Introduction to mathematical Probability / J. V. Uspensky. – N. Y. – L., 1937. – 324 p.
5. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9 изд. стер. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

УДК 631.354.3:631.314

## ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИЧІПНОГО ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО АГРЕГАТУ

*Леженкін О.М., д.т.н., професор  
Таврійський державний агротехнологічний університет*

Як видано найбільш ефективною технологією збирання зернових є технологія обчисування рослин на корені з доробкою обчисаного вороху на стаціонарі. Згідно цієї технології для збирання обчисаного вороху використовується причіпний збиральний агрегат, який складається з колісного трактору, причіпної збиральної машини та причепа-возика.

Для складання диференціальних рівнянь руху агрегату визначити кінетичну енергію агрегату, як функцію узагальнених координат та швидкостей.

Для складання диференціальних рівнянь, необхідно спочатку знайти кінетичну енергію системи.

Кінетична енергія системи у відносному русі складається з кінетичної енергії трактора  $T_{\text{тр}}$ , кінетичної енергії збиральної машини  $T_{\text{у.м.}}$  і кінетичної енергії причепа  $T_{\text{пр}}$ :

$$T = T_{\text{тр}} + T_{\text{у.м.}} + T_{\text{пр}}. \quad (1)$$

Тому що трактор робить обертовий рух щодо його центра мас і поступальний рух центра мас щодо рухливої площини  $X_1O_1Y_1$  то його кінетична енергія буде:

$$T_{\text{тр}} = T_{\text{вр}} + T_{\text{посп}}, \quad (2)$$

де  $T_{\text{вр}}$  – кінетична енергія трактора при його обертанні щодо центра мас,  $T_{\text{посп}}$  – поступальний рух центра мас щодо рухливої площини  $X_1O_1Y_1$ .

Кінетична енергія тіла здійснюючий обертовий рух визначається із співвідношення [1]:

$$T = \frac{I_z \cdot \omega^2}{2}, \quad (3)$$

де  $I_z$  – момент інерції твердого тіла щодо осі  $Z$ ,  $\omega$  – кутова швидкість.

У нашому випадку кінетична енергія обертового руху буде:

$$T_{ep} = \frac{I_{s1} \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2}, \quad (4)$$

де  $I_{s1}$  – момент інерції трактора щодо вертикальної осі минаючої через центр мас трактора,  $\dot{\varphi}_1$  – узагальнена швидкість ( $\dot{\varphi}_1 = \frac{d\varphi_1}{dt}$ ).

Кінетична енергія тіла, що робить поступальний рух знаходиться із залежності [2]:

$$T_{ном} = \frac{m \cdot V^2}{2}, \quad (5)$$

де  $m$  – маса тіла,  $V$  – поступальна швидкість.

У нашому випадку кінетична енергія поступального руху буде:

$$T_{ном} = \frac{m_{mp} \cdot \dot{X}_{s1}}{2}, \quad (6)$$

де  $m_{mp}$  – маса трактора,  $\dot{x}_{s1}$  – узагальнена швидкість ( $\dot{x}_{s1} = \frac{dx_{s1}}{dt}$ ).

Підставляємо залежності (5) і (6) у вираз (2) і одержуємо кінетичну енергію трактора:

$$T_{mp} = \frac{1}{2} (I_{s1} \cdot \dot{\varphi}_1^2 + m_{mp} \cdot \dot{X}_{s1}^2). \quad (7)$$

Виходячи з того, що збиральна машина робить плоскопаралельний рух, її кінетична енергія визначиться з виразу:

$$T_{y.m.} = \frac{1}{2} (I_{C1} \cdot \dot{\varphi}_2^2 + m_{y.m.} \cdot V_{S_2O_1}^2), \quad (8)$$

де  $I_{C1}$  – момент інерції збиральної машини щодо вісі, що проходить через точку причепа  $C_1$  збиральної машини,  $\dot{\varphi}_2$  – узагальнена швидкість, ( $\dot{\varphi}_2 = \frac{d\varphi_2}{dt}$ ),  $m_{y.m.}$  – маса збиральної машини,  $V_{S_2O_1}$  – швидкість центра мас збиральної машини щодо площини  $X_1O_1Y_1$ .

Центр мас збиральної машини щодо площини  $X_1O_1Y_1$  робить складний рух, його швидкість при цьому буде:

$$\bar{V}_{S_2} = \bar{V}_{S_1} + \bar{V}_{C_1S_1} + \bar{V}_{S_2C_1}, \quad (9)$$

де  $V_{S_1}$  – швидкість центра мас по осі  $O_1X_1$ ; її модуль  $V_{S_1} = \dot{X}_{S_1}$ ,  $\bar{V}_{C_1S_1}$  – лінійна швидкість точки причепа  $C_1$  в обертовому русі щодо центра мас трактора  $S_1$ , її модуль  $V_{C_1S_1} = \dot{\varphi}_1 \cdot S_1C_1$ ,  $\bar{V}_{S_2C_1}$  – лінійна швидкість центра мас збиральної машини  $S_2$  в обертовому русі щодо точки причепа  $C_1$ , її модуль  $V_{C_1S_2} = \dot{\varphi}_2 \cdot C_1S_2$ .

Тоді модуль швидкості центра мас збиральної машини щодо площини  $X_1O_1Y_1$  буде:

$$V_{S_2} = \dot{X}_{S_1} + \dot{\varphi}_1 \cdot S_1C_1 + \dot{\varphi}_2 \cdot C_1S_2. \quad (10)$$

Підставимо рівняння (10) у вираження (8) і знайдемо значення кінетичної енергії збиральної машини:

$$T_{y.m.} = \frac{1}{2} \left[ I_{S_2} \dot{\varphi}_2^2 + m_{y.m.} (\dot{X}_{S_1} + \dot{\varphi}_1 S_1C_1 + \dot{\varphi}_2 C_1S_2)^2 \right]. \quad (11)$$

Для спрощення виразу (11) введемо позначення лінійних розмірів  $S_1C_1 = a$ ,  $C_1S_2 = b$ :

$$T_{y.m.} = \frac{1}{2} \left[ I_{S_2} \dot{\varphi}_2^2 + m_{y.m.} (\dot{X}_{S_1} + \dot{\varphi}_1 \cdot a + \dot{\varphi}_2 \cdot b)^2 \right]. \quad (12)$$

Кінетична енергія причепа у відносному русі на площині  $X_1O_1Y_1$  обчислюється із співвідношення:

$$T_{np} = \frac{1}{2} [I_{C_2} \dot{\phi}_3^2 + I_N \dot{\phi}_4^2 + m_{np} \cdot V_{S_4O_1}^2], \quad (13)$$

де  $I_{C_2}$  – момент інерції дишла причепа щодо вертикальної осі, що проходить через точку  $C_2$ ,  $I_N$  – момент інерції причепа щодо його вертикальної центральної осі,  $V_{S_4O_1}$  – лінійна швидкість причепа в обертовому русі центра мас причепа  $S_4$  щодо точки  $O_1$ ,  $m_{np}$  – маса причепа.

Центр мас причепа, щодо точки  $N$  робить складний рух, його абсолютна швидкість буде дорівнювати сумі:

$$V_{S_4O_1} = \bar{V}_{S_1} + \bar{V}_{C_2S_1} + \bar{V}_{C_2C_1} + \bar{V}_{NC_2} + \bar{V}_{S_4N}, \quad (14)$$

де  $\bar{V}_{C_2C_1}$  – лінійна швидкість точки  $C_2$  в обертовому русі щодо точки  $C_1$ , приєднання збиральної машини до трактора,  $\bar{V}_{NC_2}$  – лінійна швидкість точки  $N$  щодо точки  $C_2$ , приєднання причепа до збиральної машини,  $\bar{V}_{S_4N}$  – лінійна швидкість центра мас причепа  $S_4$  в обертовому русі щодо точки  $N$ .

Модулі цих швидкостей визначаються з виразів:

$$V_{C_2C_1} = \dot{\phi}_2 \cdot C_2C_1, \quad V_{NC_2} = \dot{\phi}_3 \cdot NC_2, \quad V_{S_4N} = \dot{\phi}_4 \cdot S_4N.$$

Введемо позначення:  $C_2C_1 = n$ ;  $NC_2 = d_1$ ;  $S_4N = r_2$ .

Тоді:

$$V_{C_2C_1} = \dot{\phi}_2 \cdot n, \quad V_{NC_2} = \dot{\phi}_3 \cdot d_1, \quad V_{S_4N} = \dot{\phi}_4 \cdot r_2.$$

Модуль швидкості центра мас причепа щодо центра  $O_1$  буде:

$$V_{S_4O_1} = \dot{X}_1 + \dot{\phi}_1 \cdot a + \dot{\phi}_2 \cdot n + \dot{\phi}_3 \cdot d_1 + \dot{\phi}_4 \cdot r_2. \quad (15)$$

Підставимо вираз (15) у рівняння (13)

$$T_{np} = \frac{1}{2} [I_{S_3} \dot{\phi}_3^2 + I_{S_4} \dot{\phi}_4^2 + m_{np} (\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 \cdot a + \dot{\phi}_2 \cdot n + \dot{\phi}_3 \cdot d_1 + \dot{\phi}_4 \cdot r_2)^2] \quad (16)$$

Визначаємо кінетичну енергію збирального агрегату:

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} [ (I_{S_1} \dot{\phi}_1^2 + m_{mp} \dot{X}_{S_1}^2) + I_{S_2} \dot{\phi}_2^2 + m_{y.m.} (\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \dot{\phi}_2 b)^2 + \\ &+ I_{S_3} \dot{\phi}_3^2 + I_{S_4} \dot{\phi}_4^2 + (\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 \cdot a + \dot{\phi}_2 \cdot n + \dot{\phi}_3 \cdot d_1 + \dot{\phi}_4 \cdot r_2)^2 m_{mp} ] = \\ &= \frac{1}{2} [ I_{S_1} \dot{\phi}_1^2 + I_{S_2} \dot{\phi}_2^2 + I_{S_3} \dot{\phi}_3^2 + I_{S_4} \dot{\phi}_4^2 + m_{mp} \dot{X}_{S_1}^2 + m_{y.m.} (\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 a + \\ &+ \dot{\phi}_2 b)^2 + m_{mp} (\dot{X}_{S_1} + \dot{\phi}_1 \cdot a + \dot{\phi}_2 \cdot n + \dot{\phi}_3 \cdot d_1 + \dot{\phi}_4 \cdot r_2)^2 ] \end{aligned} \quad (17)$$

В результаті проведених аналітичних досліджень визначено кінетичну енергію триланкового збирального агрегату, як функцію узагальнених координат та швидкостей, що дасть можливість скласти рівняння Лагранжу II роду для даного агрегату.

### Список використаних джерел

1. Воронков И.М. Курс теоретической механики / И.М. Воронков. – М.: Наука, 1965. – 592 с.
2. Булгаков В.М. Инженерная механика: підручник / В.М. Булгаков, О.І. Литвинов, Д.Г. Войтюк; за ред. В.М. Булгакова. – Вінниця: Нова книга, 2006. – Ч. 1. Теоретична механіка. – 504 с.