

УДК 631.354:633.85

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВІДНОСНОГО РУХУ НАПІВНАВІСНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ РИЦИНИ

Леженкін О. М., д.т.н.,

Рубцов М. О., к.т.н.,

Головін С. В., інж.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-24-36

Анотація – розглянуті питання динаміки напівнавісного агрегату для збирання рицини, складена за допомогою рівнянь Лагранжу II роду система диференціальних рівнянь і отриманий її розв’язок.

Ключові слова – рицина, напівнавісний агрегат, узагальнені сили, узагальнені координати, узагальнені швидкості, диференціальні рівняння, відносний рух.

Постановка проблеми. Як відомо, рицина є дуже важливою культурою для народного господарства. Але в останні роки її виробництво практично припинено. Це пов’язано з відсутністю технічних засобів збирання врожаю. Комбайни, які випускалися за часів Радянського Союзу вже прийшли в повну непридатність, а нових рицинозбиральних комбайнів Україна, на жаль, не виробляє. Виходом з даної ситуації може бути розробка нових технологій збирання врожаю. Найбільш ефективною, на наш погляд, є технологія збирання врожаю методом обчісування рослин на корені. Для колосових та воротневих культур ця технологія вже розроблена і, навіть, є технічні засоби [1, 2, 3, 4]. Що стосується рицини, то такі роботи ведуться у Таврійському державному агротехнологічному університеті. На підставі проведених попередніх досліджень був розроблений модуль для збирання рицини методом обчісування на корені [5, 6, 7].

Конструктивні параметри цього модулю обґрунтовані в роботах [8, 9]. Але для обґрунтування стійкого руху напівнавісного агрегату необхідно провести дослідження динаміки.

Аналіз досліджень і публікацій. Першим почав дослідження динаміки агрегатів академік Горячкін В.П. [10]. Подальше продовження досліджень в цьому напрямку знайшло відображення у роботах академіка Василенка П.М. [11, 12]. Значний вклад у розвиток динаміки

агрегатів та стійкості їх руху був зроблений професором Гячевим Л.В. [13, 14]. Питання динаміки та стійкості руху причіпних зернозбиральних агрегатів розглянуті в роботах [15, 16, 17]. Стосовно напівнавісного агрегату для збирання ріщини динаміці руху присвячені роботи [18, 19, 20]. Але в цілому динаміка агрегату такого класу ще не розглядалась.

Формулювання цілей статті. Побудувати математичні моделі відносного руху напівнавісного агрегату для збирання ріщини.

Основна частина. Розглянемо напівнавісний агрегат для збирання ріщини, що складається з обчісуючого модулю 2, який навішаний на трактор 1 (рис.1) [18].

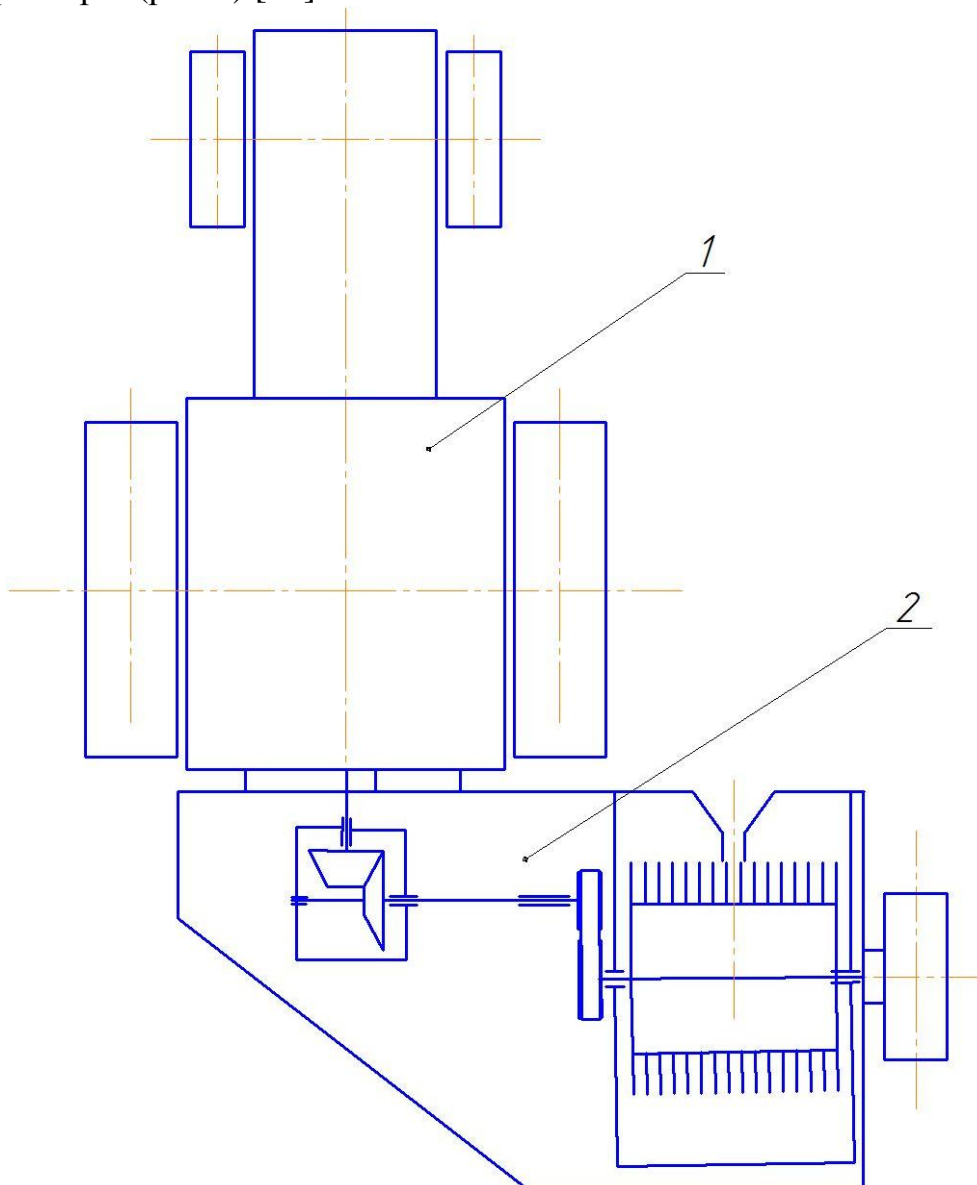


Рис. 1. Агрегат для збирання ріщини методом обчісування.

Збиральний агрегат у відносному русі має два ступеня вільності і тому його положення визначається двома узагальненими координата-

ми. Переміщення центру мас трактора вздовж осі O_1X_1 визначиться узагальненою координатою X_{1C} . Поворот навколо осі, яка проходить через центр мас трактора, визначається узагальненою координатою φ . Розрахункову схему збирального модулю наведено на рисунку 2 [19].

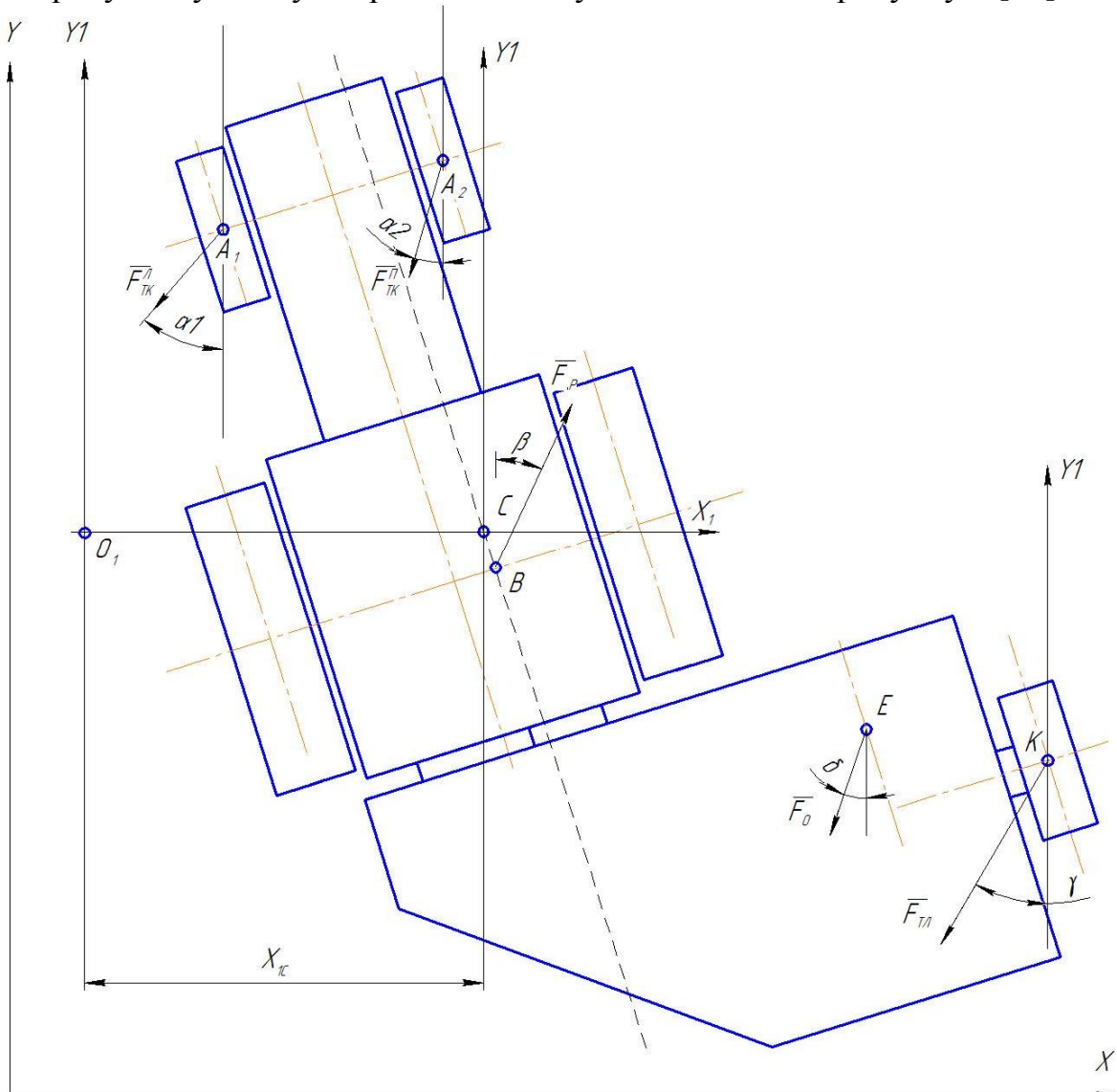


Рис. 2. Розрахункова схема збирального агрегату.

На збиральний агрегат діють наступні сили (рис.2).

\vec{F}_{TK}^L і \vec{F}_{TK}^P - сили тертя лівого та правого передніх коліс трактора;

\vec{F}_P - головний вектор рушійних сил задніх коліс трактора;

\vec{F}_0 - головний вектор сил опору обчісуванню рослин;

\vec{F}_{TL} - сила тертя опорної лижи.

Ці сили утворюють з координатними осями кути α_1 , α_2 , β , δ , γ , їх значення має загальний вигляд:

$$\alpha_1 = \frac{\dot{X}_{C_1} - \varphi \cdot a}{V_C}; \alpha_2 = \frac{\dot{X}_{C_1} - \varphi \cdot b}{V_C}; \beta = \frac{X_{C_1} + \varphi \cdot c}{V_C};$$

$$\gamma = \frac{X_{C_1} + \varphi \cdot k}{V_C}; \delta = \frac{X_{C_1} + \varphi \cdot d}{V_C}, \quad (1)$$

- де V_C - швидкість центру мас агрегату (переносна швидкість);
 a – відстань від центра мас агрегату до точки A_1 (центр лівого колеса трактора);
 b – відстань від центра мас агрегату до точки A_2 (центр правого колеса трактора);
 c – відстань від центра мас агрегату до задньої осі трактора;
 n – відстань від центра мас агрегату до центра лижи;
 l – відстань від центра мас агрегату до точки прикладення головного вектора сил опору обчисуванню рослин.

Для складання диференціальних рівнянь відносного руху збирального агрегату використовуємо рівняння Лагранжу II роду в узагальнених координатах [20]. Враховуючи, що агрегат має два ступеня вільності та в'язі в першому приближенні можна вважати головними, ми отримуємо систему двох диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_C} \right] - \frac{\partial T}{\partial X_C} &= Q_1 \\ \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right] - \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= Q_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

- де T – кінетична енергія агрегату;
 $\dot{X}_C, \dot{\varphi}$ – узагальнені швидкості;
 X_C, φ – узагальнені координати;
 Q_1, Q_2 – узагальнені сили, що відповідають узагальненим координатам та φ .

Визначимо кінетичну енергію відносного руху збирального агрегату. Кінетична енергія у відносному русі складається з кінетичної енергії поступального і обертального рухів. За відомими з теоретичної механіки формулами були визначені обидві складові, тобто кінетична енергія поступального та обертального рухів. Потім обидва вирази були складені та отримано вираз повної кінетичної енергії відносного руху [21]:

$$T = \frac{1}{2} (I_C \cdot \varphi^2 + m \cdot X_{1C}^2), \quad (3)$$

- де I_C – момент інерції агрегату відносно осі, яка проходить через центр мас;

m – маса агрегату.

Визначаємо частинні похідні від кінетичної енергії за узагальненими швидкостями:

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_{1C}} &= m \cdot \dot{X}_{1C}; \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= I_C \cdot \dot{\varphi}.\end{aligned}\quad (4)$$

Продиференціюємо за часом вирази (4):

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_{1C}} \right] &= m \cdot \ddot{X}_{1C}; \\ \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right] &= I_C \cdot \ddot{\varphi}.\end{aligned}\quad (5)$$

Знаходимо частинні похідні від кінетичної енергії за узагальненими координатами:

$$\frac{\partial T}{\partial X_{1C}} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi} = 0.\quad (6)$$

Підставляємо вирази (5) і (6) в рівняння (3)

$$\left. \begin{aligned}m \cdot \ddot{X}_{1C} &= Q_1 \\ I_C \cdot \ddot{\varphi} &= Q_2\end{aligned} \right\} \quad (7)$$

В правій частині диференціальних рівнянь (7) знаходяться узагальнені сили Q_1 і Q_2 , що відповідають узагальненим координатам X_{1C} та φ . Вирази цих сил були визначені в роботі [19] і вони мають загальний вид:

$$\begin{aligned}Q_1 &= -F_{TK}^J \cdot \alpha_1 - F_{TK}^n \cdot \alpha_2 + F_{TK}^J \cdot \beta + F_{TK}^n \cdot \beta + F_0 \cdot \beta + F_0 \cdot \delta - F_{TL} \cdot \gamma, \\ Q_2 &= F_{TK}^J \cdot \alpha_1 \cdot k + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot k + F_{TK}^n \cdot \alpha_1 \cdot k + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot k + F_{TK}^J \cdot \beta \cdot c + \\ &+ F_{TK}^n \cdot \beta \cdot c + F_0 \cdot \beta \cdot c + F_{TL} \cdot \beta \cdot c + F_{TK}^J \cdot \varphi \cdot c + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot c + F_0 \cdot \varphi \cdot c + \\ &+ F_{TL} \cdot \varphi \cdot c - F_0 \cdot \delta \cdot l - F_0 \cdot \varphi \cdot l - F_{TL} \cdot \gamma \cdot n - F_{TL} \cdot \varphi \cdot n.\end{aligned}\quad (8)$$

Після підстановки виразів узагальнених сил в рівняння (7) отримуємо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}m \cdot \ddot{X}_{1C} &= -F_{TK}^J \cdot \alpha_1 - F_{TK}^n \cdot \alpha_2 + F_{TK}^J \cdot \beta + F_{TK}^n \cdot \beta + F_0 \cdot \beta + F_0 \cdot \delta - F_{TL} \cdot \gamma, \\ I_C \cdot \ddot{\varphi} &= F_{TK}^J \cdot \alpha_1 \cdot k + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot k + F_{TK}^n \cdot \alpha_1 \cdot k + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot k + F_{TK}^J \cdot \beta \cdot c + \\ &+ F_{TK}^n \cdot \beta \cdot c + F_0 \cdot \beta \cdot c + F_{TL} \cdot \beta \cdot c + F_{TK}^J \cdot \varphi \cdot c + F_{TK}^n \cdot \varphi \cdot c + F_0 \cdot \varphi \cdot c + \\ &+ F_{TL} \cdot \varphi \cdot c - F_0 \cdot \delta \cdot l - F_0 \cdot \varphi \cdot l - F_{TL} \cdot \gamma \cdot n - F_{TL} \cdot \varphi \cdot n.\end{aligned}\quad (9)$$

Остаточно маємо наступну систему розв'язків:

Машина і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

$$\begin{aligned} \varphi &= C_1 \cdot y_1 + C_2 \cdot y_2 + C_3 \cdot y_3 \\ X_{1C} &= C_3 + C_4 \cdot e^{rt} + \check{Y}_2 \end{aligned} \quad (10)$$

де y_1, y_2, y_3 – лінійно незалежні розв’язки, які записуються в залежності від коренів характеристичного рівняння $\sigma^3 + e \cdot \sigma^2 + g \cdot \sigma + h = 0$;

C_1, C_2, C_3 – довільні сталі;

\check{Y}_2 – будь-який окремих розв’язок всього рівняння.

Висновки. Аналітичне дослідження динаміки руху напівнавісного агрегату для збирання рицини виконано з використанням рівнянь Лагранжу II роду в узагальнених координатах, при цьому, агрегат розглядався у відносному русі як механічна система з двома ступенями вільності. Отримані аналітичні залежності зміни узагальнених координат, які можна в подальшому використовувати для моделювання стійкості руху агрегату.

Література

1. *Шабанов П.А.* Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: Дис... докт.техн.наук / *П.А.Шабанов.* – Мелитополь – 1988. – 336 с.

2. *Леженкин А.Н.* Методология формирования энерго- и ресурсосберегающей технологи уборки зерновых культур в условиях фермерских хозяйств (на примере Украины): Авторефер. дис... докт.техн.наук / *А.Н.Леженкин,* МГАУ им. В.П.Горячкина. – Москва, 2008. – 39 с.

3. *Леженкин А.Н.* Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств Юга Украины / *А.Н.Леженкин* // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: междунар.науч.конф. – Ярославль, 2003. – Ч.III. – С. 28-29.

4. *Кушнарев А.С.* Энергосберегающая технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств / *А.С.Кушнарев, А.Н.Леженкин* // Сб. докл. междунар. научн.- технич. конф. «Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав» / ТГАТА. – Мелитополь, 2003.- С. 17 – 21.

5. Пат. 37775 Україна, МПК7 А01D41/08, А01D45/30. Пристрій для збирання рицини / *В.А.Дідур, В.Т.Надикто, О.М.Леженкін, С.В.Головін* (Україна). – U200808162; заявл. 17.006.2008; опубл.12.07.08, Бюл.№23.

6. Пат. 50849 Україна, МПК7 А01D41/08, А01D45/30. Пристрій для збирання рицини / *С.В.Головін, О.М.Леженкін, В.А.Дідур* (Україна). - U200913555; заявл. 25.12.2009; опубл.25.06.2010, Бюл.№12.

7. Пат. 58913 Україна, МПК7 А01D41/08, А01D45/30. Пристрій для збирання селекційних посівів рицини / *С.В.Головін,* ТДАТУ Промислова власність. - U2010.

8. *Головін С.В.* Моделі регресії обчислюючого модулю для збирання рицини з використанням пружних елементів / *С.В.Головін.* – Праці ТДАТУ / Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Модулювання технологічних процесів в АПК». – Мелітополь, 2010. – Вип.10., т.8. – С.289-297.

9. *Головін С.В.* Визначення основних конструктивних параметрів та режимів роботи обчислюючого модулю для збирання рицини / *С.В.Головін.* – Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип.12., т.5. – С.130-135.

10. *Горячкин В.П.* Теория масс и скоростей сельскохозяйственных машин и орудий / *В.П.Горячкин* // Собрание сочинений. – Т.1. – М.: Колос, 1965. – С.431-465.

11. *Василенко П.М.* Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий / *П.М.Василенко* // Сборник трудов по земледельческой механике. – М., 1954. – с. 73 – 92.

12. *Василенко П.М.* О методике механико-математических исследований при разработке сельскохозяйственной техники / *П.М.Василенко.* – М.: Бюро технической информации ГОСНИТИ, 196. – 280 с.

13. *Гячев Л.В.* Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / *Л.В.Гячев.* – Ростов-на-Дону: РГУ, 1976. – 192 с.

14. *Гячев Л.В.* Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / *Л.В.Гячев.* – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.

15. *Леженкин А.Н.* Динамика очесывающего агрегата при уборке зерновых культур / *А.Н.Леженкин* // Механиз. и электриф.сел.х-ва. – 2004. - №12. – С.24-25.

16. *Леженкин А.Н.* Дифференциальные уравнения прицепного уборочного агрегата при прямолинейном и равномерном движении центра масс трактора / *А.Н. Леженкин* // Механизация технологических процессов в АПК; Известия междунар.академии аграрного образования. – СПб, 2008. – Вып.6., т.1. – С.76-84.

17. *Леженкін О.М.* Аналітичне дослідження руху збирального агрегату / *О.М.Леженкін* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип.12, т.5. – С.73-79.

18. *Леженкін О.М.* Аналіз динамічних та кінематичних показників, що впливають на рух обчислюючого модулю для збирання рицини / *О.М.Леженкін, С.В.Головін* // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип.2, т.3. – Режим доступу: <http://www.nbuuv.gov.ua/e-journals/nvtdau>. – С.147-154.

19. *Леженкін О.М.* Визначення узагальнених сил діючих на обчислюючий модуль для збирання рицини / *О.М.Леженкін, С.В.Головін* // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських

машин: КНТУ. – Кіровоград, 2012. – Вип.42, ч.ІІ. – С.59-64.

20. Айзерман М.А. Классическая механика / М.А.Айзерман. - М.: Наука, 1980. – 367 с.

21. Леженкін О.М. Визначення кінетичної енергії відносного руху агрегату для збирання рицини, як функції узагальнених швидкостей / О.М.Леженкін, С.В.Головін // Матеріали ІХ-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». – Кіровоград, 7-8 листопада 2013 року. – С.115-116.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЛУНАВЕСНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ УБОРКИ КЛЕЩЕВИНЫ

А.Н. Леженкин, М.О. Рубцов, С.В. Головин

Аннотация – в статье рассматриваются вопросы динамики полунавесного агрегата для уборки клещевины, составлена система дифференциальных уравнений его относительного движения с использованием уравнений Лагранжа II рода в обобщенных координатах и получено ее решение.

MATHEMATICAL MODELS OF RELATIVE MOVEMENT SEMIHINGED HARVESTING UNIT RICINUS

A. Lezhenkin, R. Rubcov, S. Golovin

Summary

The paper considers the dynamics of semi-mounted unit for cleaning castor, a system of differential equations of its relative motion using Lagrange equations II kind in generalized coordinates and obtained her decision.