

О.М. Леженкін, доц., д-р техн. наук, С.В.Головін, інж.
Таврійський державний агротехнологічний університет

Визначення узагальнених сил діючих на обчісуючий модуль для збирання рицини

У статті наводиться методика визначення узагальнених сил діючих на обчісуючий модуль для збирання рицини.

узагальнені сили, узагальнені координати, диференційні рівняння, обчісуючий модуль, збирання рицини

Постановка проблеми. Як відомо, рицина є дуже важливою культурою у народному господарстві України. Але її виробництво стримується недостатністю технічних засобів збирання врожаю. З метою вирішення цієї проблеми був розроблений модуль для збирання рицини методом обчісування на корені [1, 2, 3].

Втрати насіння не обчісуванням залежать від стійкості руху модулю. Для обґрунтування стійкого руху модулю необхідно дослідити його динаміку.

Однією із складових частин дослідження динаміки руху є визначення узагальнених сил.

Аналіз публікацій. Основи динаміки руху причіпних сільськогосподарських машин та знарядь закладені П.М.Василенко [4]. Продовження цього наукового напрямку знайшло відображення у роботах А.В.Гячева [5, 6].

Але в цих роботах досліджується динаміка руху причіпних ґрунтообробних знарядь та транспортних засобів. Динаміка причіпних зернозбиральних агрегатів розглянута в роботі [7]. Для напівнавісних знарядь, до яких належить обчісуючий модуль, питання динаміки не розглянуті.

Постановка завдання. Визначити узагальнені сили, які діють на збиральний обчісуючий модуль.

Основна частина. Збиральний агрегат складається з обчісуючого модулю 2 навішеного на колісний трактор 1 (рисунок 1) [8].

Збиральний агрегат у відносному русі має два ступеня вільності, і тому його положення визначається двома узагальненими координатами.

Переміщення центру мас трактора вздовж вісі O_1X_1 визначиться узагальненою координатою X_{C1} . Поворот навколо вісі, яка проходить крізь центр мас трактору визначається узагальненою координатою φ . Розрахункову схему збирального модулю наведено на рисунку 2.

Визначаємо узагальнені сили Q_1 і Q_2 , що відповідають узагальненим координатам X_{C1} та φ .

Як відомо, узагальнена сила – це коефіцієнт у виразі елементарної роботи усіх сил на можливому переміщенні системи, яка відповідає елементарному приросту тільки однієї узагальненої координати [9].

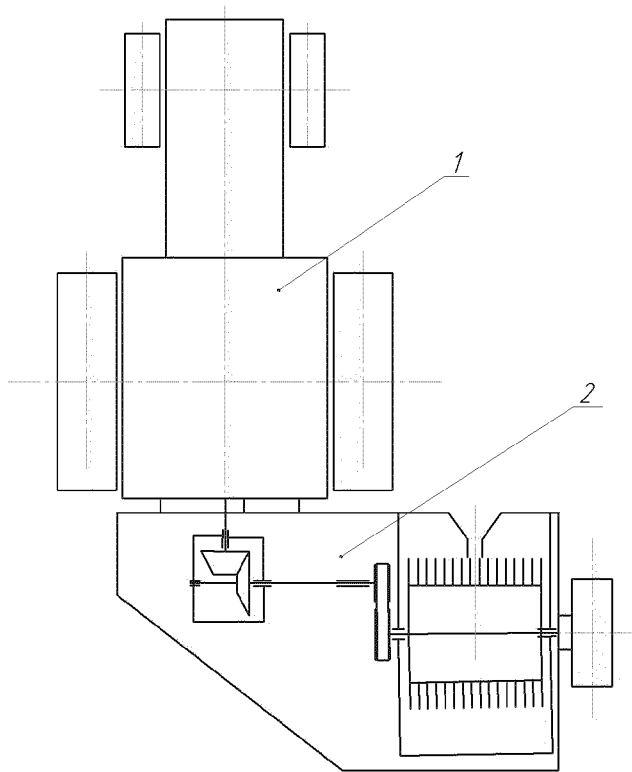


Рисунок 1 - Технологічна схема агрегату для збирання рицини методом обчисування

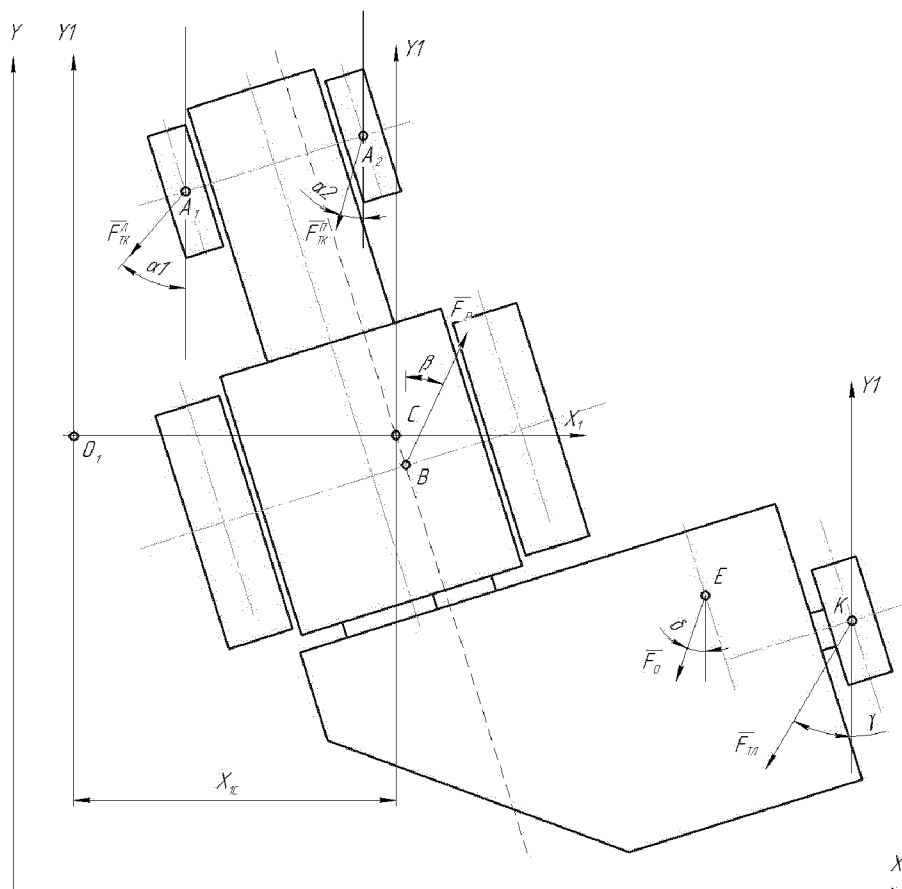


Рисунок 2 - Розрахункова схема збирального агрегату

Тобто, узагальнена сила дорівнює:

$$Q_i = \frac{\sum \delta A_K}{\delta q_i}, \quad (1)$$

де $\sum \delta A_K$ - повна елементарна робота прикладених на механічну систему сил;

δq_i - елементарний приріст узагальненої координати.

Таким чином, визначення узагальнених сил зводиться до обчислення елементарної роботи прикладених сил на можливих переміщеннях точок системи.

На збиральний модуль діють наступні сили (рис.2):

$\overline{F_{TK}^L}$ і $\overline{F_{TK}^P}$ - сили тертя лівого та правого передніх коліс трактора;

$\overline{F_P}$ - головний вектор рушійних сил задніх коліс трактора;

$\overline{F_O}$ - головний вектор сил опору обчисуванню рослин;

$\overline{F_{TL}}$ - сила тертя опорної лижи.

Для визначення узагальненої сили Q_1 перенесемо збиральний агрегат на відстань δX_{C1} вбік зростання координати С і підрахуємо суму елементарних робіт сил, що діють на агрегат:

$$\sum \delta A_{X_{1C}} = \delta A_{X_C}(\overline{F_{TK}^L}) + \delta A_{X_C}(\overline{F_{TK}^P}) + \delta A_{X_C}(\overline{F_P}) + \delta A_{X_C}(\overline{F_O}) + \delta A_{X_C}(\overline{F_{TL}}), \quad (2)$$

де $\delta A_{X_C}(\overline{F_{TK}^L})$ - елементарна робота сили тертя лівого колеса трактора при зміщенні його центру мас на відстань δX_C ;

$\delta A_{X_C}(\overline{F_{TK}^P})$ - елементарна робота сили тертя правого колеса трактора при зміщенні його центру мас на відстань δX_C ;

$\delta A_{X_C}(\overline{F_P})$ - елементарна робота головного вектору рушійних сил задніх коліс трактора при зміщенні його центру мас на відстань δX_C ;

$\delta A_{X_C}(\overline{F_O})$ - елементарна робота головного вектору сил опору обчисуванню при зміщенні його центру мас на відстань δX_C ;

$\delta A_{X_C}(\overline{F_{TL}})$ - елементарна робота головного вектору сили тертя опорної лижи при зміщенні його центру мас на відстань δX_C .

Знаходимо елементарні роботи сил тертя лівого та правого передніх коліс трактора.

$$\begin{aligned} \delta A_{X_C}(\overline{F_{TK}^L}) &= -\overline{F_{TK}^L} \cdot \sin \alpha_1 \cdot \delta X_{1C} \\ \delta A_{X_C}(\overline{F_{TK}^P}) &= -\overline{F_{TK}^P} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \delta X_{1C} \end{aligned} \quad (3)$$

де α_1 і α_2 - кути між векторами сил тертя лівого і правого коліс трактора та віссю U_1 . Враховуючи, що кути α_1 і α_2 малі приймаємо $\sin \alpha_1 \approx \alpha_1$, $\sin \alpha_2 \approx \alpha_2$.

тоді:

$$\begin{aligned} \delta A_{X_C}(\overline{F_{TK}^L}) &= -\overline{F_{TK}^L} \cdot \alpha_1 \cdot \delta X_{1C} \\ \delta A_{X_C}(\overline{F_{TK}^P}) &= -\overline{F_{TK}^P} \cdot \alpha_2 \cdot \delta X_{1C} \end{aligned} \quad (4)$$

Визначаємо елементарну роботу головного вектору рушійної сили задніх коліс трактора, при зміщенні його центру мас на відстань δX_{C1} .

$$\delta A_{X_C}(\overline{F_P}) = \overline{F_P} \cdot \sin \beta \cdot \delta X_{1C}. \quad (5)$$

Враховуючи, що $\overline{F_P} = \overline{F_{TK}^L} + \overline{F_{TK}^П} + \overline{F_O} + \overline{F_{ТЛ}}$
тоді:

$$\delta A_{X_C}(\overline{F_P}) = (\overline{F_{TK}^L} + \overline{F_{TK}^П} + \overline{F_O} + \overline{F_{ТЛ}}) \cdot \sin\beta \cdot \delta X_{1C}, \quad (6)$$

де β – кут між головним вектором рушійних сил і віссю Y_1 . Так як кут β малий, прийmemo $\sin\beta \approx \beta$.

Остаточню :

$$\delta A_{X_C}(\overline{F_P}) = (\overline{F_{TK}^L} + \overline{F_{TK}^П} + \overline{F_O} + \overline{F_{ТЛ}}) \cdot \beta \cdot \delta X_{1C}. \quad (7)$$

Елементарна робота головного вектору сил опору обчисуванню при зміщенні центру мас трактора на відстань δX_{C1} буде дорівнювати:

$$\delta A_{X_C}(\overline{F_O}) = -\overline{F_O} \cdot \sin\delta \cdot \delta X_{1C}, \quad (8)$$

де δ – кут між головним вектором сил опору обчисуванню та віссю Y_1 , прийmemo, що $\sin\delta \approx \delta$.

$$\delta A_{X_C}(\overline{F_O}) = -\overline{F_O} \cdot \delta \cdot \delta X_{1C}. \quad (9)$$

Знаходимо елементарну роботу сили тертя опорної лижи обчисуючого модулю при переміщенні центру мас трактора на відстань δX_{C1} .

$$\delta A_{X_C}(\overline{F_{ТЛ}}) = -\overline{F_{ТЛ}} \cdot \sin\gamma \cdot \delta X_{1C}, \quad (10)$$

де γ – кут між кето ромом сили тертя опорної лижи обчисуючого модулю та віссю Y_1 . Прийmemo, що $\sin\gamma \approx \gamma$.

$$\delta A_{X_C}(\overline{F_{ТЛ}}) = -\overline{F_{ТЛ}} \cdot \gamma \cdot \delta X_{1C}. \quad (11)$$

Сума елементарних робіт діючих сил при переміщенні центру мас трактора на відстань δX_{C1} .

$$\begin{aligned} \sum \delta A_{X_{1C}} = & -\overline{F_{TK}^L} \cdot \alpha_1 \cdot \delta X_{1C} - \overline{F_{TK}^П} \cdot \alpha_2 \cdot \delta X_{1C} + \overline{F_{TK}^L} \cdot \beta \cdot \delta X_{1C} + \\ & + \overline{F_{TK}^П} \cdot \beta \cdot \delta X_{1C} + \overline{F_O} \cdot \beta \cdot \delta X_{1C} + \overline{F_{ТЛ}} \cdot \beta \cdot \delta X_{1C} - \overline{F_O} \cdot \delta \cdot \delta X_{1C} - \\ & - \overline{F_{ТЛ}} \cdot \gamma \cdot \delta X_{1C} \end{aligned} \quad (12)$$

З виразу (1) визначаємо узагальнену силу Q_1 :

$$Q_1 = -F_{TK}^L \cdot \alpha_1 - F_{TK}^П \cdot \alpha_2 + F_{TK}^L \cdot \beta + F_{TK}^П \cdot \beta + F_O \cdot \beta + F_{ТЛ} \cdot \beta - F_O \cdot \delta - F_{ТЛ} \cdot \gamma \quad (13)$$

Для збирального агрегату сума елементарних робіт усіх діючих сил при повороті трактора на елементарний кут $\delta\varphi$ визначиться із співвідношення:

$$\sum \delta A_\varphi = \delta A_\varphi(\overline{F_{TK}^L}) + \delta A_\varphi(\overline{F_{TK}^П}) + \delta A_\varphi(\overline{F_P}) + \delta A_\varphi(\overline{F_O}) + \delta A_\varphi(\overline{F_{ТЛ}}). \quad (14)$$

де $\delta A_\varphi(\overline{F_{TK}^L})$ – елементарна робота сили тертя лівого колеса трактора при повороті його на кут $\delta\varphi$;

$\delta A_\varphi(\overline{F_{TK}^П})$ – елементарна робота сили тертя правого колеса трактора при повороті його на кут $\delta\varphi$;

$\delta A_\varphi(\overline{F_P})$ – елементарна робота головного вектору рушійних сил задніх коліс трактора при повороті його на кут $\delta\varphi$;

$\delta A_\varphi(\overline{F_O})$ – елементарна робота головного вектору сил опору обчисуванню при повороті його на кут $\delta\varphi$;

$\delta A_\varphi(\overline{F_{ТЛ}})$ – елементарна робота головного вектору сили тертя опорної лижи обчисуючого модулю при повороті його на кут $\delta\varphi$.

Визначаємо елементарну роботу кожної сили окремо:

$$\delta A_{\varphi}(\overline{F_{TK}^L}) = \overline{F_{TK}^L} \cdot CK \cdot \sin(\alpha_1 + \varphi) \cdot \delta\varphi, \quad (15)$$

де CK – відстань від центру мас агрегату до передньої вісі трактора.

Згідно [10] $\sin(\alpha_1 + \varphi) = \sin\alpha_1 \cdot \cos\varphi + \cos\alpha_1 \cdot \sin\varphi$.

Враховуючи, що кути α_1 і φ малі, можемо прийняти $\sin\alpha_1 \approx \alpha_1$, $\cos\varphi \approx 1$, $\sin\varphi \approx \varphi$, $\cos\alpha_1 \approx 1$. Тоді:

$$\delta A_{\varphi}(\overline{F_{TK}^L}) = (\overline{F_{TK}^L} \cdot \alpha_1 + \overline{F_{TK}^L} \cdot \varphi) \cdot CK \cdot \delta\varphi. \quad (16)$$

Аналогічно:

$$\delta A_{\varphi}(\overline{F_{TK}^{\Pi}}) = (\overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \alpha_1 + \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \varphi) \cdot CK \cdot \delta\varphi. \quad (17)$$

Елементарна робота рушійної сили задніх коліс трактора при повороті його на кут $\delta\varphi$ визначиться із співвідношення:

$$\begin{aligned} \delta A_{\varphi}(\overline{F_P}) &= \overline{F_P} \cdot \sin(\beta + \varphi) \cdot CB \cdot \delta\varphi = \\ &= (\overline{F_P} \cdot \beta + \overline{F_P} \cdot \varphi) \cdot CB \cdot \delta\varphi \end{aligned} \quad (18)$$

Як було сказано раніше $\overline{F_P} = \overline{F_{TK}^L} + \overline{F_{TK}^{\Pi}} + \overline{F_O} + \overline{F_{TL}}$

Підставляємо значення $\overline{F_P}$ у співвідношення (18):

$$\delta A_{\varphi}(\overline{F_P}) = (\overline{F_{TK}^L} \cdot \beta + \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \beta + \overline{F_O} \cdot \beta + \overline{F_{TL}} \cdot \beta + \overline{F_{TK}^L} \cdot \varphi + \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \varphi + \overline{F_O} \cdot \varphi + \overline{F_{TL}} \cdot \varphi) \cdot CB \cdot \delta\varphi \quad (19)$$

де CB – відстань від центру мас агрегату до задньої вісі трактора.

Знаходимо елементарні роботи головного вектору сил опору обчисуванню та сили тертя опорної лижи при повороті трактора на кут $\delta\varphi$.

$$\delta A_{\varphi}(\overline{F_O}) = -\overline{F_O} \cdot \sin(\delta + \varphi) \cdot CL \cdot \delta\varphi \quad (20)$$

$$\delta A_{\varphi}(\overline{F_{TL}}) = -\overline{F_{TL}} \cdot \sin(\gamma + \varphi) \cdot CN \cdot \delta\varphi$$

де CL – відстань від центру мас агрегату до точки прикладення головного вектору сил опору обчисуванню;

CN – відстань від центру мас агрегату до точки прикладення вектору сили тертя лижи.

$$\delta A_{\varphi}(\overline{F_O}) = [-\overline{F_O} \cdot \delta \cdot CL - \overline{F_O} \cdot \varphi \cdot CL] \cdot \delta\varphi \quad (21)$$

$$\delta A_{\varphi}(\overline{F_{TL}}) = [-\overline{F_{TL}} \cdot \gamma \cdot CN - \overline{F_{TL}} \cdot \varphi \cdot CN] \cdot \delta\varphi$$

Для спрощення виразів [16, 17, 18, 19, 20, 21] введемо позначення $CK = k$, $CB = m$, $CL = l$, $CN = n$. З урахуванням позначень сума елементарних робіт діючих на обчисуючий модуль сил, при його повороті на кут $\delta\varphi$ визначиться із співвідношення:

$$\begin{aligned} \sum \delta A_{\varphi} &= \overline{F_{TK}^L} \cdot \alpha_1 \cdot k \cdot \delta\varphi + \overline{F_{TK}^L} \cdot \varphi \cdot k \cdot \delta\varphi + \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \alpha_1 \cdot k \cdot \delta\varphi + \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \varphi \cdot k \cdot \delta\varphi + \overline{F_{TK}^L} \cdot \\ &\beta \cdot m \cdot \delta\varphi + \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \beta \cdot m \cdot \delta\varphi + \overline{F_O} \cdot \beta \cdot m \cdot \delta\varphi + \overline{F_{TL}} \cdot \beta \cdot m \cdot \delta\varphi + \overline{F_{TK}^L} \cdot \varphi \cdot m \cdot \delta\varphi + \\ &\overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \varphi \cdot m \cdot \delta\varphi + \overline{F_O} \cdot \varphi \cdot m \cdot \delta\varphi + \overline{F_{TL}} \cdot \varphi \cdot m \cdot \delta\varphi - \overline{F_O} \cdot \delta \cdot l \cdot \delta\varphi - \overline{F_O} \cdot \varphi \cdot l \cdot \\ &\delta\varphi - \overline{F_{TL}} \cdot \gamma \cdot n \cdot \delta\varphi - \overline{F_{TL}} \cdot \varphi \cdot n \cdot \delta\varphi \end{aligned} \quad (22)$$

Знаходимо узагальнену силу Q_2 :

$$\begin{aligned} Q_2 &= \overline{F_{TK}^L} \cdot \alpha_1 \cdot k + \overline{F_{TK}^L} \cdot \varphi \cdot k + \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \alpha_1 \cdot k + \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \varphi \cdot k + \\ &+ \overline{F_{TK}^L} \cdot \beta \cdot m + \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \beta \cdot m + \overline{F_O} \cdot \beta \cdot m + \overline{F_{TL}} \cdot \beta \cdot m + \overline{F_{TK}^L} \cdot \varphi \cdot m + \\ &+ \overline{F_{TK}^{\Pi}} \cdot \varphi \cdot m + \overline{F_O} \cdot \varphi \cdot m + \overline{F_{TL}} \cdot \varphi \cdot m - \overline{F_O} \cdot \delta \cdot l - \overline{F_O} \cdot \varphi \cdot l - \\ &- \overline{F_{TL}} \cdot \gamma \cdot n - \overline{F_{TL}} \cdot \varphi \cdot n. \end{aligned} \quad (23)$$

Висновок. 1. Встановлено, що положення збирального агрегату у відносному русі визначають дві узагальнені координати X_{1c} – зміщення центру мас агрегату вздовж вісі X_1 та кут φ – кут повороту агрегату навколо вертикальної вісі, яка проходить крізь центр мас агрегату.

2. Визначено, що на збиральний агрегат діють наступні сили: сила тертя лівого $\overline{F_{ТК}^L}$ та правого $\overline{F_{ТК}^П}$ коліс трактора, головний вектор рушійних сил задніх коліс трактора $\overline{F_P}$, головний вектор сил опору обчисуванню $\overline{F_O}$, сила тертя опорної лижи обчисуючого модулю $\overline{F_{ТЛ}}$.

3. Встановлено загальний вид залежностей для визначення узагальнених сил Q_1 та Q_2 вирази [13] та [23].

Список літератури

1. 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.17.06.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.
2. Пат.50849 Україна МКИ⁷ А01D41/08 А01D45/30 Пристрій для збирання рицини / С.В.Головін, О.М.Леженкін, В.А.Дідур, ТДАТУ // Промислова власність. – u200913555; заявл. 25.12.2009; опубл. 25.06.2010, Бюл.№12.
3. Пат.58913 Україна МКИ⁷ А01D41/08 А01D45/30 Пристрій для збирання селекційних посівів рицини / С.В.Головін, ТДАТУ // Промислова власність. – u201012506; заявл. 22.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. №8.
4. *Василенко П.М.* Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий // Сборник трудов по земледельческой механике / П.М.Васеленко. – М., 1954. – С. 73 – 92.
5. *Гячев Л.В.* Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / Л.В. Гячев. – Ростов на Дону: Изд-во Ростовского университета. - 1976. – 192 с.
6. *Гячев Л.В.* Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / Л.В.Гячев. – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.
7. *Булгаков В.М.* Динаміка зернозбиральних агрегатів / В.М.Булгаков, Г.М.Калетнік, І.В.Гринік, О.М.Леженкін. – К.: Аграрна наука, 2010. – 276 с.
8. Дідур В.А. Результати польових досліджень машини для збирання рицини методом очисування на корені / В.А.Дідур, О.М.Леженкін, С.В.Головін. - Праці ТДАТУ. - Мелітополь, 2010. - Вип.9., т. 6.
9. Булгаков В.М. Інженерна механіка / В.М.Булгаков, О.І.Литвинов, Д.Г.Войтюк: підручник / Під загальною редакцією проф. Булгакова В.М. – Вінниця: «Нова книга», 2006. – 504 с.
10. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике / М.Я.Выгодский. – М.: Технико-теоретическая литература, 1957. – 412 с.

А.Леженкин, С.Головин

Определение обобщенных сил действующих на очесывающий модуль для уборки клещевины

В статье приводится методика определения обобщенных сил действующих на очесывающий модуль для уборки клещевины.

A.Lezhenkin, S.Golovin

Determination of the generalized forces operating on ochesyvayushchy the module for castor-bean tree cleaning

The technique of determination of the generalized forces is given in article operating on the ochesyvayushchy module for castor-bean tree cleaning.

Одержано 12.09.12