

## KINEMATICS OF THE DISC-BELT FLAX PULLING DEVICE

S.M. Yukhymchuk\*, M.M. Tolstushko, S.F. Yukhymchuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

AGRICULTURAL MACHINES

AM  
CM

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

## ABSTRACT

The new design of the disc-belt flax pulling device, which will increase the durability of the pulling belts and reduce the material consumption of the flax pulling machine, is described in the article. The disc-belt flax pulling device consist of a prefabricated frame and dividers. The proposed flax pulling device and a transverse conveyor are located on the frame. Moreover, the flax pulling device is made in the form of active pulling discs that contact the pulling belts, each of which is mounted on two rollers, one of which is spring-loaded. The pulling belt does not transmit torque from the drive pulley to the driven pulley, as a result of which the belt stretches less. The geometrical parameters of the pulling section of the disc-belt flax pulling device were established. Namely, the dimensions of the pulling disk, belt drive and the length of the pulling shaft were determined. A kinematic analysis of the flax pulling process was carried out. Theoretical studies were based on the basic principles of higher mathematics, physics and theoretical mechanics, the theory of mechanisms and machines. Analysis of mathematical models was carried out with the help of applied computer programs, in particular in the computer mathematics environment Maple V. According to the equations, the trajectories of the flax stem movement were constructed for various indicators of the speed regime of the pulling device. It was studied how the indicator of the speed regime of the pulling device and the angle of inclination of the pulling device to the horizontal affect the length of the trajectory of the flax stem movement by the pulling device. The conditions for selecting the indicator of the speed regime of the flax pulling device was considered. It was established that the flax puller speed should not exceed the circular speed of pulling disk rotation. The performed calculations confirmed that the selected geometric and kinematic parameters of the pulling section of the disc-belt flax puller will ensure the complete extraction of flax stalks from the soil.

**Key words:**

flax pulling,  
flax stalks,  
flax pulling device,  
flax pulling device parameters,  
speed regime indicator

**Article history:**

Received 02.09.2022

Accepted 04.10.2022

**\*Corresponding author:**

uyhimchyksveta@gmail.com

DOI: 10.36910/acm.vi48.865

**To cite this article:**

Yukhymchuk, S. M., Tolstushko, M. M., & Yukhymchuk, S. F. (2022). Kinematics of the disc-belt flax pulling device. *Agricultural Machines*, 48, 81-87. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.865>

УДК 631.358

## КІНЕМАТИКА ДИСКОВО-ПАСОВОГО ЛЬОНОБРАЛЬНОГО АПАРАТА

С.М. Юхимчук\*, М.М. Толстушко, С.Ф. Юхимчук

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

АМ  
СММ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

## АНОТАЦІЯ

У статті представлено опис нової конструкції дисково-пасового льонобрального апарата, що дозволить підвищити довговічність бральних пасів апарата та зменшити матеріаломісткості машини. Це досягається за рахунок того, що бральні паси не передають тягових зусиль, а виконують тільки затискання і утримування стебел льону. Дисково-пасовий льонобральний апарат містить збірну раму та розташовані на ній подільники, бральний вузол і поперечний транспортер. Причому, бральний вузол виконано у вигляді активних бральних дисків, що контактують із бральними пасами, кожен із яких встановлено на двох роликах, один з яких підпружинений. Обґрунтовано геометричні параметри бральної секції дисково-пасового льонобрального апарата. А саме, розміри брального диска, пасової передачі та визначено довжину брального ривчака. Проведено кінематичний аналіз процесу брання льону. Теоретичні дослідження базувалися на основних положеннях вищої математики, фізики і теоретичної механіки, теорії механізмів і машин. За одержаними рівняннями у просторовій системі координат були побудовані траєкторії руху точки затискання стебла льону бральним ривчаком за різного швидкісного режиму брального апарата. Досліджено залежність довжини траєкторії руху стебла льону бральним ривчаком від зміни показника швидкісного режиму брального апарата і кута нахилу брального апарата до горизонталі. Розглянуто умови вибору показника швидкісного режиму льонобрального апарата. Встановлено, що швидкість льонозбиральної машини не має перевищувати значення колової швидкості обертання брального диска. Проведені розрахунки підтвердили, що підібрані геометричні та кінематичні параметри бральної секції дисково-пасового льонобрального апарата забезпечать повне витягування стебел льону із ґрунту та високу чистоту брання льону.

**Ключові слова:**

брання льону,  
стебла льону,  
льонобральний апарат,  
параметри льонобрального апарата,  
показник швидкісного режиму

**Історія публікації:**

Отримано 02.09.2022

Затверджено 04.10.2022

**\*Автор для листування:**

yuhimchyksveta@gmail.com

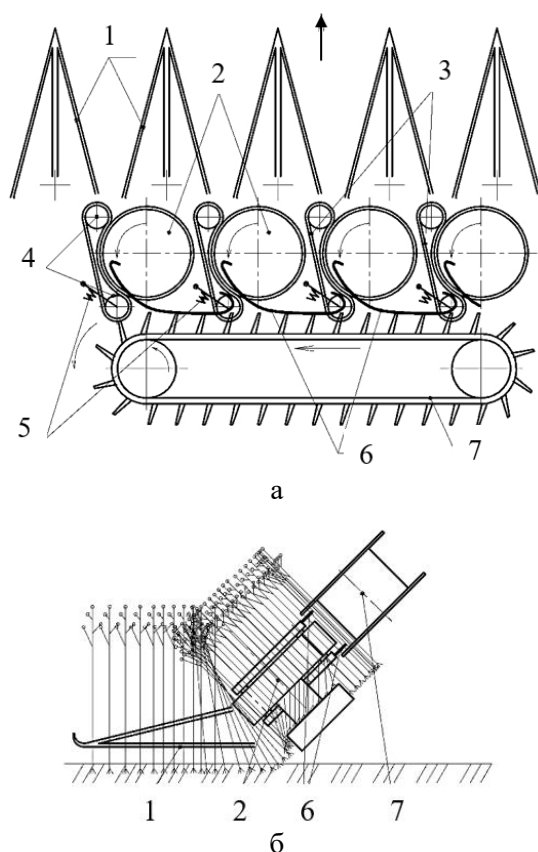
DOI: 10.36910/acm.vi48.865

**Цитувати цю статтю:**

Юхимчук, С. М., Толстушко, М. М., & Юхимчук, С. Ф. (2022). Кінематика дисково-пасового льонобрального апарата. *Сільськогосподарські машини*, 48, 81-87. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.865>

### СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У науковій роботі (Юхимчук та ін., 2022) запропонована нова конструкція дисково-пасового брального апарата, в якому привод здійснюється безпосередньо на бральні диски, а паси притискають стебла льону до поверхні бральних дисків. Тобто бральний пас не передає крутного моменту від ведучого шківів до веденого шківів, тому менше розтягується під час роботи. Запропонований дисково-пасовий льонобральний апарат розташовується під кутом до горизонталі та містить (рис. 1): збірну раму; подільники; бральний вузол, який містить бральні диски, бральні паси, ролики, підпружинені кріплення та напрямні прутки; поперечний транспортер.



**Рис. 1** – Види зверху (а) та збоку (б) дисково-пасового льонобрального апарата:  
1 – подільники; 2 – бральні диски;  
3 – бральні паси; 4 – ролики; 5 – підпружинені кріплення; 6 – напрямні прутки;  
7 – поперечний транспортер

Дисково-пасовий льонобральний апарат працює таким чином. Привод бральних дисків,

які обертаються в однаковому напрямку, здійснюється з картера рами. З одного боку кожен бральний диск охоплюється бральним пасом, який надітий на ролики. За рахунок підпружиненого кріплення верхнього ролика забезпечується постійний натяг брального паса і, відповідно, тиск у бральному ривчаку. Під час руху льонозбиральної машини полем подільники розділяють стеблостій льону на окремі смужки та спрямовують їх у гирла бральних ривчаків. Далі стебла льону затискаються між контактуючими поверхнями бральних дисків і бральних пасів, витягуються із ґрунту і переміщуються до виходу із бральних ривчаків, де захоплюються пальцями поперечного транспортера машини і, ковзаючи поверхнею напрямних прутків, переміщуються до виходу із дисково-пасового льонобрального апарата. Залежно від типу льонозбиральної машини стеблова стрічка або розстеляється на льонищі, або подається на наступні робочі органи машини для обчисування насінневих коробочок льону.

Запропонований льонобральний апарат має меншу матеріаломісткість порівняно з аналогами. Підвищення довговічності бральних пасів забезпечується за рахунок того, що вони не передають тягових зусиль, а виконують лише затискання і утримування стебел льону.

**Мета дослідження** – обґрунтувати геометричні параметри бральної секції дисково-пасового льонобрального апарата та провести кінематичний аналіз процесу брання для забезпечення повного витягування стебел льону із ґрунту.

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Теоретичні дослідження базувалися на основних положеннях вищої математики, фізики, теоретичної механіки та теорії механізмів і машин. Аналіз математичних моделей та графічні побудови здійснювалися за допомогою прикладних комп'ютерних програм, зокрема в середовищі комп'ютерної математики Maple V.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Підберемо за допомогою ескізного компонування, використовуючи комп'ютерну програму КОМПАС, геометричні розміри

льонобральної секції. Аналогічно до відомих конструкцій льонобральних апаратів з чотирма рівчаками приймаємо ширину захвату однієї бральної секції  $B = 380$  мм.

Під час компоновання враховувалися дві умови:

- довжина затискання стебел льону у бральному рівчаку повинна бути достатньою, щоб забезпечити брання стеблостою із різними характеристиками (висота, полеглість) і за різної швидкості льонозбиральної машини;

- гілки брального паса, який приводиться від брального диска, не повинні торкатися між собою.

У результаті графічного компоновання отримано геометричні параметри бральної секції (рис. 2): відстань між центрами бральних дисків апарата – 380 мм; радіус прогумованого брального диска –  $R = 160$  мм; діаметри роликів пасової передачі – 80 мм; товщина брального паса – 10 мм; зазор між притискною та збігаючою гілками паса за умови, що в бральному рівчаку відсутні стебла, – 15 мм; довжина брального паса – 1000 мм; ширина брального диска і брального паса, за аналогією з відомими конструкціями пасових бральних апаратів, – 100 мм. Зона контакту брального диска і брального паса  $AB$  відповідає куту охоплення брального диска  $\alpha = 80^\circ$ , що в перерахунку на довжину зони обхвату становить:

$$L = 2\pi R\alpha / 360^\circ \approx 223 \text{ мм.} \quad (1)$$

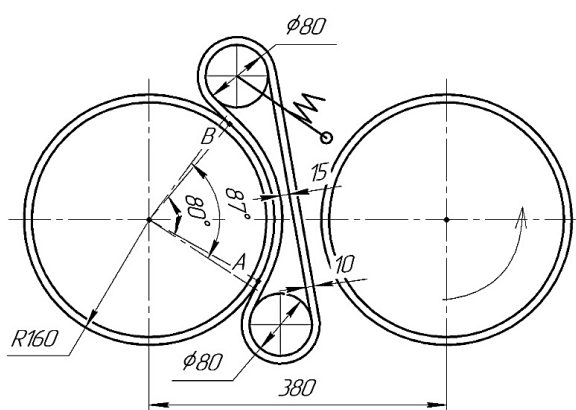


Рис. 2 – Компоновальна схема бральної секції

Необхідно зазначити, що під час брання льону, коли між бральним диском і бральним пасом знаходяться стебла льону, ця зона збільшується. Якщо стебла льону затиснуті в

один шар товщиною 1 мм, тоді ця зона буде характеризуватися кутом охоплення брального диска  $\alpha = 86^\circ 30'$  та довжиною  $L = 241$  мм. У випадку збільшення товщини стрічки стебел льону зона затискання також збільшиться.

Льонобральний апарат виконує дві основні функції – витягування стебел льону із ґрунту і їх переміщення до поперечного транспортера. При цьому затиснуті в бральних рівчаках стебла льону здійснюють складний рух, а саме: відносний рух внаслідок обертання брального диска та переносний – внаслідок руху льонозбиральної машини.

На рис. 3 представлена схема фронтальної проєкції льонобрального апарату у Декартовій системі координат  $X'Y'$ . Вісь  $Y'$  розташована горизонтально і спрямована вправо, а вісь  $X'$  – спрямована вниз. Стебло льону умовно позначене матеріальною точкою  $M$ , що рухається в системі координат  $X'Y'$  кривою  $AB$ . При цьому швидкість точки  $M$  у бральному рівчаку  $V_p$  співпадає з коловою швидкістю обода брального диска і швидкістю переміщення брального паса (рис. 3). Швидкість  $V_p$  утворює з віссю  $Y'$  деякий змінний кут  $\varphi$ , залежно від якого значення проєкції швидкості  $V_x$  набуває або додатних, або від'ємних значень.

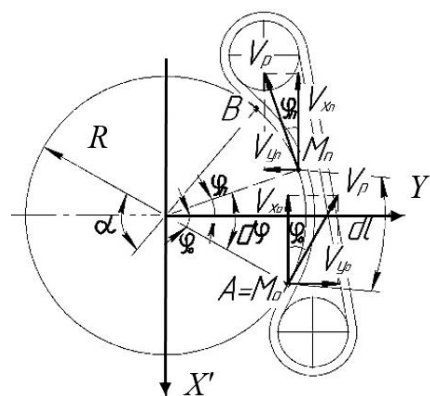


Рис. 3 – Схема до визначення швидкостей стебла льону у бральному рівчаку

Проекції швидкості  $V_p$  на осі  $X'$  та  $Y'$  визначаються із рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V_p \cos \varphi; \\ V_y &= V_p \sin \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

На криволінійних ділянках бральних рівчаків апарата кут  $\varphi$  рівний гострому куту

між проведеним у точку  $M$  радіусом кривизни та віссю  $X'$  (рис. 3), оскільки швидкість  $V_p$  спрямована вздовж дотичної до кривої і вектор  $V_p$  з радіусом утворює прямий кут.

Під час переміщення бральним рівчаком стебло льону (точка  $M$ ) за деякий час  $dt$  пройде шлях  $dl$ :

$$dl = V_p \cdot dt. \quad (3)$$

Цей самий шлях  $dl$  можна виразити через відповідну зміну кута  $d\varphi$ , як деяку довжину дуги кола:

$$dl = R \cdot d\varphi, \quad (4)$$

де  $R$  – радіус брального диска, м.

До цього рух стебла льону розглядався тільки під дією обертання брального диска і не враховуючи впливу швидкості поступального руху агрегата  $V_m$ . Під дією останнього фактора стебло набуває ще й переносної швидкості  $V_m$ . Відповідно, точку  $M$  розглядали в просторовій системі координат  $XYZ$  (рис. 4). Нерухомі осі координат  $X$ ,  $Y$  та  $Z$  спрямовували таким чином: вісь  $X$  – паралельна до напрямку швидкості руху льонозбиральної машини  $V_m$ ; вісь  $Y$  – паралельна площині брального апарата та спрямована у напрямку руху затиснутих стебел; вісь  $Z$  – перпендикулярна до поверхні поля та спрямована вгору. При цьому вісь  $X'$  фронтальної площини льонобрального апарата утворює з віссю  $X$  кут  $\beta$  (кут нахилу брального апарата до горизонталі), а вісь  $Y'$  – паралельна до осі  $Y$ . При цьому швидкість  $V$  точки  $M$  у просторовій системі координат визначається як векторна сума проєкцій  $V_x$ ,  $V_y$  та  $V_z$ :

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V_{px} + V_m = V_p \cos \varphi \cos \beta + V_m; \\ V_z &= V_{pz} = V_p \cos \varphi \sin \beta; \\ V_y &= V_{py} = V_p \sin \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

За відомих значень проєкцій швидкостей  $V$  точки  $M$  визначаються проєкції на осі координат  $X$ ,  $Y$  та  $Z$  переміщень  $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$  точки  $M$  залежно від часу  $dt$ :

$$\left. \begin{aligned} dX &= V_x dt; \\ dY &= V_y dt; \\ dZ &= V_z dt. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Виразивши для криволінійної ділянки  $dt$  через  $d\varphi$  та прирівнявши праві частини рівняння (3) і (4), отримаємо:

$$dt = \frac{R}{V_p} d\varphi. \quad (7)$$

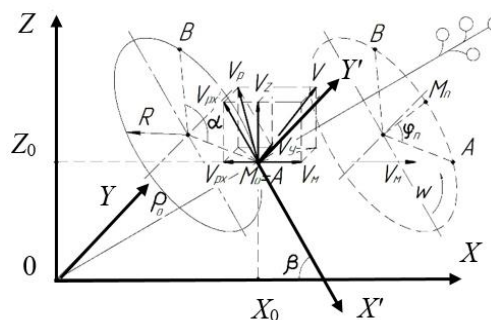


Рис. 4 – Розрахункова схема брання стебла

Інтегруючи отриману систему рівнянь (6), із урахуванням рівнянь (5) та (7), знайдемо рівняння для визначення координат точки  $M$  у певний момент часу. Межі інтегрування при цьому для криволінійної ділянки брального рівчака будуть від  $\varphi_0$  до  $\varphi_0 + \alpha$ , тобто кут  $\varphi_n \in [\varphi_0; \varphi_0 + \alpha]$  (рис. 4). Тоді, під час руху стебла льону бральним рівчаком, координати точки  $M$  можна визначити за рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} X_n &= R \left[ \cos \beta (\sin \varphi_n - \sin \varphi_0) + \frac{V_m}{V_p} (\varphi_n - \varphi_0) \right] + X_0; \\ Y_n &= R (\cos \varphi_n - \cos \varphi_0) + Y_0; \\ Z_n &= R (\sin \varphi_n - \sin \varphi_0) \sin \beta + Z_0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

У рівняннях системи (8) величини  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  є постійними інтегрування і відповідають координатам точки  $A$  початку ділянки кривої  $AB$ . За початок координат просторової системи  $XYZ$  вибрано точку розташування у ґрунті стебла льону, яке потрапляє в гирло брального рівчака брального апарата перпендикулярно до його площини (рис. 4). При цьому координати точки  $A$  становитимуть:

$$X_0 = h \cdot \operatorname{tg} \beta, Y_0 = 0, Z_0 = h, \quad (9)$$

де  $h$  – висота точки початку брання, м;  $h \cdot \operatorname{tg} \beta$  – проєкція частини стебла льону  $OM$  на ґрунт, м.

Використавши рівняння системи (8) та підібрані геометричні параметри дисково-пасового льнобрального апарата (рис. 2) з допомогою комп'ютерної програми Maple V були побудовані у просторовій системі координат траєкторії руху точки  $M$  бральним рівчаком (зона  $AB$ ) за різних показників швидкісного режиму брального апарата. Для побудови брали значення параметрів: радіус брального диска –  $R = 0,16$  м; висота точки початку брання льону –  $h = 0,2$  м; кут нахилу брального апарата до горизонталі –  $\beta = \pi/3$ ; кути –  $\varphi_0 = -\pi/6$  та  $\alpha = \pi/2$ ; колова швидкість брального диска –  $V_p = 2,35$  м/с; швидкості руху машини  $V_m = 1,18$  м/с,  $2,01$  м/с та  $2,47$  м/с, що відповідає показнику швидкісного режиму брального апарата  $\mu = V_m/V_p = 0,50, 0,85$  і  $1,05$ .

За центр просторової системи координат приймаємо точку розташування в ґрунті стебла льону, яке затискається перпендикулярно в бральному рівчаку (на рис. 5 – це точка  $A$ ). З точки  $A$  відкладемо отримані траєкторії використовуючи комп'ютерну програму КОМПАС (рис. 5). Аналіз рис. 5 показує, що із збільшенням швидкості руху машини  $V_m$  і, відповідно, показника швидкісного режиму брального апарата  $\mu$  довжина траєкторії руху точки  $M$  бральним рівчаком зростає. Причому, довжина цих траєкторій значно більша за довжину, на яку треба перемістити стебло льону, щоб витягнути його з ґрунту до повного відриву корінців ( $a = 0,05$  м (Хайлис, 2011)).

Знайдемо довжину траєкторії руху стебла льону в бральному рівчаку. Із курсу вищої математики (Выгодский, 2006) відома формула для визначення довжини дуги:

$$S = \int \sqrt{\left(\frac{dX}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dY}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dZ}{dt}\right)^2} dt = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} dt. \quad (10)$$

Підставивши в рівняння (10) праві частини рівнянь (6) і (7), після спрощення отримаємо інтеграл для визначення довжини траєкторії руху точки  $M$  при проходженні стебла льону криволінійною ділянкою брального рівчака льнобрального апарата:

$$S = R \int_{\varphi_0}^{\varphi_n} \sqrt{1 + 2 \frac{V_M}{V_P} \cos \varphi \cos \beta + \left(\frac{V_M}{V_P}\right)^2} d\varphi. \quad (11)$$

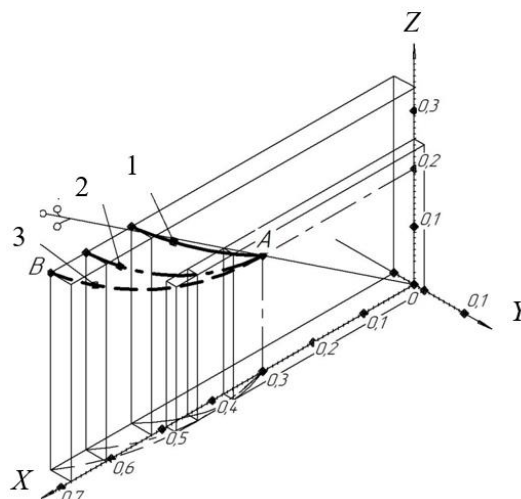
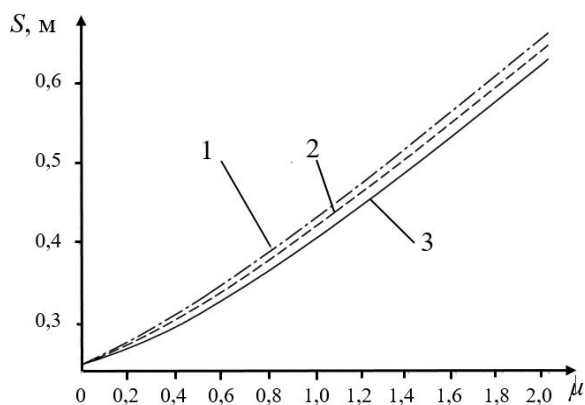


Рис. 5 – Траєкторії руху точки затискання стебла льону бральним рівчаком (зона  $AB$ ) для різних показників швидкісного режиму льнобрального апарата:

1 –  $\mu = 0,50$ ; 2 –  $\mu = 0,85$ ; 3 –  $\mu = 1,05$

Хоча отриманий інтеграл (11) є інтегралом неперервної функції, але він не виражається елементарними функціями. Тому розв'язок будемо проводити за допомогою комп'ютерної програми Maple V. Приймаємо такі значення параметрів: радіус брального диска –  $R=0,16$  м; кути –  $\varphi_0 = -\pi/6$ ,  $\alpha = \pi/2$ ,  $\varphi_n = \varphi_0 + \alpha = \pi/3$ ; кути нахилу льнобрального апарата до горизонталі –  $\beta_1 = 2\pi/9$ ,  $\beta_2 = 5\pi/18$  та  $\beta_3 = \pi/3$ ; показник швидкісного режиму льнобрального апарата –  $\mu \in [0; 2]$ . У результаті проведених обчислень були побудовані графічні залежності довжини  $S$  траєкторії руху точки  $M$  при проходженні стебла криволінійною ділянкою брального рівчака від показника швидкісного режиму льнобрального апарата  $\mu$  для різних кутів нахилу апарата до горизонталі  $\beta$  (рис. 6). Усі криві виходять з точки, що відповідає значенню  $S = 0,24$  м. Тому, у випадку  $\mu = 0$  чи  $V_M = 0$  м/с довжина траєкторії буде рівна величині дуги охоплення пасом брального диска (рис. 2). Довжина  $S$  траєкторії руху точки  $M$  при проходженні стебла ділянкою брального рівчака збільшується із збільшенням показника швидкісного режиму брального апарата  $\mu$  і зі зменшенням кута нахилу брального апарата до горизонталі  $\beta$ . Однак, вплив кута  $\beta$  незначний порівняно із впливом показника швидкісного режиму  $\mu$ . Оскільки відстань, на яку потрібно витягнути стебло

льону з ґрунту до повного відриву корінців ( $a = 0,05$  м (Хайлис, 2011)), менша за довжину  $S$  траєкторії руху точки  $M$  при проходженні стебла ділянкою брального рівчака, тоді повне витягування стебел льону із ґрунту буде забезпечене за будь-якого значення показника швидкісного режиму брального апарата  $\mu$ .



**Рис. 6** – Залежність довжини  $S$  траєкторії руху точки  $M$  при проходженні стебла льону ділянкою брального рівчака від показника швидкісного режиму брального апарата  $\mu$  за різних кутів нахилу брального апарата:  
1 –  $\beta_1 = 40^\circ$ ; 2 –  $\beta_2 = 50^\circ$ ; 3 –  $\beta_3 = 60^\circ$

У найсприятливішому випадку (рис. 4) для процесу брання стебло льону затискається перпендикулярно до площини льонобрального апарата та при його витягуванні із ґрунту швидкість брання  $V$  спрямована вздовж осі стебла. Тобто матимемо  $\cos\beta = V_p/V_M = 1/\mu$  або  $\mu = 1/\cos\beta$ , тоді при  $\beta = 60^\circ$  отримаємо  $\mu = 2$ .

Відомо (Хайлис, 2011), що для бральних апаратів із поздовжніми бральними рівчаками за зростання показника швидкісного режиму  $\mu$  збільшується розтягнутість стебел, а чистота

брання – зменшується. Крім цього, за зростання значення  $\mu$  збільшується товщина шару стебел, які затискаються в бральному рівчаку. Тому необхідно враховувати, що показник  $\mu$  не повинен бути більшим за одиницю. Тобто швидкість машини  $V_M$  не повинна перевищувати колову швидкість обертання брального диска  $V_p$ . За такого  $\mu$  нижня частина стебла льону при витягуванні з ґрунту буде відхилятися, але це відхилення буде до  $30^\circ$  і при повному витягуванні з ґрунту стебло за рахунок пружності відновить свою форму (Хайлис, 2011).

### ВИСНОВКИ

Проведені розрахунки підтвердили, що підібрані геометричні і кінематичні параметри бральної секції дисково-пасового брального апарата забезпечать повне витягування стебел льону із ґрунту. Ця конструкція дисково-пасового брального апарата знаходиться на стадії проектування – розробляються креслення складальних одиниць та деталей. Оскільки конструкція є новою, тому автори будуть дуже вдячні за зауваження і пропозиції щодо її вдосконалення.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Выгодский, М. Я. (2006). *Справочник по высшей математике (Handbook of higher mathematics)*. Москва: Астрель.
- Хайлис, Г. А. (2011). *Теория льноуборочных машин (Theory of flax harvesters)*. Москва: Росинформагротех.
- Юхимчук, С. М., Толстушко, М. М., Юхимчук, С. Ф., & Дацюк, Л. М. (2022). Розробка конструкції дисково-пасового льонобрального апарата (*Development of the design of a disc-belt flax-pulling device*). *Наукові нотатки*, 73, 239-242. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2022.73.35>