

**С.М. Юхимчук, С.Ф. Юхимчук, Н.О. Толстушко, Л.М. Дацюк**  
*Луцький національний технічний університет*

### **ЕНЕРГЕТИКА БРАННЯ СТЕБЕЛ ЛЬОНУ БРАЛЬНИМ АПАРАТОМ З ПРЯМОЛІНІЙНИМИ ПОПЕРЕЧНИМИ РІВЧАКАМИ**

*У статті теоретично досліджено енергетику процесу брання стебел льону, які затискаються у прямолінійному поперечному бральному рівчаку та розташовані в різних місцях пучка; вивчено динаміку зміни складових потужності брання при переміщенні стебла льону по бральному рівчаку; визначено секундну роботу брання, та значення її складових.*

*Ключові слова:* брання, стебла льону, бральний апарат, прямолінійний поперечний рівчак, потужність, робота.

**С.Н. Юхимчук, к.т.н., С.Ф. Юхимчук, Н.А. Толстушко, Л.Н. Дацюк**  
**ЭНЕРГЕТИКА ТЕРЕБЛЕНИЯ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА ТЕРЕБИЛЬНЫМ АППАРАТОМ С ПРЯМОЛИНЕЙНЫМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ РУЧЬЯМИ**

*В статье теоретически исследованы энергетику процесса тербления стеблей льна, которые зажимаются в поперечном прямолинейном тербильном ручье и расположены в разных местах пучка; изучена динамика изменения составляющих мощности тербления при перемещении стебля льна по тербильном ручье; определены секундная работа тербления и значение ее составляющих.*

*Приведены графические зависимости распределения мощности тербления между загруженностью тербильного ремня и тяговым усилием машины. Расчеты подтвердили, что выбранные параметры аппарата полностью удовлетворяют требованиям процесса тербления. Работа тербления не зависит от размещения стеблей в элементарном пучке и во всех случаях равна 0,16 Дж.*

*Ключевые слова:* тербление, стебли льна, тербильный аппарат, прямолинейный поперечный ручей, мощность, работа

**S.M. Yukhymchuk, S.F. Yukhymchuk, N.O. Tolstushko, L.M. Datsyuk**  
**ENERGETICS PULLING OF THE FLAX stalks BY PULLING APPARATUS WITH RECTLINEAR TRANSVERSAL STREAMS**

*In the article the power of the process of pulling stems, which are clamped in a rectlinear transversal pulling stream and located in different places of the beam, is theoretically investigated. The dynamics of the changes in the power of breeding components when moving the stem of flax through the pulling stream; Definition of the second job of pulling, and the meaning of its constituents.*

*The graphic dependences of the power pulling distribution between the pulling cell and the traction effort of the machine are given. The calculations confirmed that the chosen parameters of the device fully satisfy the requirements of the process of pulling. The work of the pulling does not depend on the placement of the stems in the elementary bundle and in all cases is equal to 0.16 Joule.*

*Key words:* pulling, flax stalks, pulling apparatus, rectlinear transversal stream, power, work

**Постановка проблеми.** Запропонована конструкція [1] (рис. 1), де за машину аналог взято льнобралку ТЛН-1,5, містить раму 1 та встановлені на ній подільники 2, бральний пас 3, який охоплює ведучий 4 і ведений 5 шківів, а замість бральних дисків встановлені бральні пластини 6, до яких при роботі притискаються стебла льону. Поверхні брального пасу 3 та бральних пластин 6 мають хвилевидну форму. Це покращує затискання стебел у бральних рівчаках, а також попереджує їх прокручування при ковзанні по бральних пластинах. Поверхня брального пасу шорстка, а бральних пластин – гладенька, тому при бранні стебла в бральних рівчаках переміщуються разом із пасом ковзаючи по бральних пластинах. Для забезпечення певного зусилля затискання стебел навпроти бральних пластин встановлені притискні механізми 7, які підтримують бральний пас і забезпечують необхідне зусилля затискання стебел льону у бральних рівчаках.

Зазори між бральними пластинами і бральним пасом виставляються за допомогою регулювальних гвинтів. В кожному наступному бральному рівчаку ці зазори збільшуються з врахуванням потовщення стеблової стрічки.

Раніше нами [2] було теоретично визначено необхідну зону затискання стебел льону для повного витягування їх з ґрунту, що дало змогу обґрунтувати довжину бральної пластини та технологічні параметри льнобрального апарата.

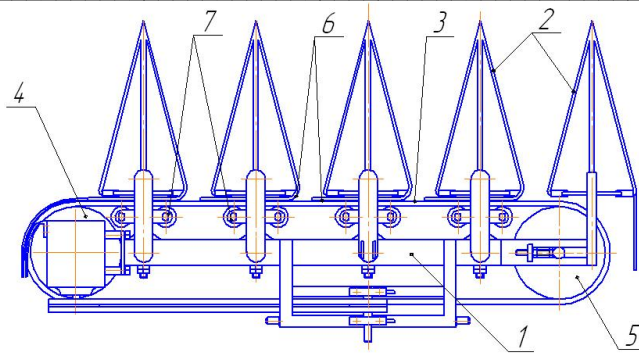


Рис. 1 - Льнобралка з поперечними бральними рiвчаками: 1 – рама; 2- подiльники; 3 - бральний пас; 4 - ведучий i 5- ведений шкiви; 6 - бральнi пластини; 7 – притискнi механiзми

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Встановлено, що при механізованому збиранні льону загальна потужність, що йде на витягування стебел з ґрунту, складається із потужності на привод робочих органів брального апарата та потужності на переміщення машини по полю.

Летошнев М.М. [3] досліджуючи потребу в силі та потужності на брання льону вивів формулу для визначення секундної витрати енергії на брання стебел:

$$N = Bv_M i T_{cp} a, \quad (1)$$

де  $B$  - ширина захвату брального апарата;

$v_M$  – швидкість машини;

$i$  – густина стеблестою льону;

$T_{cp}$  - середня сила брання стебла льону з ґрунту;

$a$  - довжина шляху дії сили брання.

Також, вчений дослідив [3] завантаження брального апарата роботою брання, яка залежить від кута нахилу стебла у бральному рiвчаку. Ці дослідження стосувались тільки прямолінійних поздовжніх бральних апаратів.

За Хайлісом Г.А. [4] потужність, що витрачається на привод брального паса машини ТЛН-1,5 з поперечними криволінійними бральними рiвчаками для брання стебел, рiвна:

$$N_p = v_p (S_n - S_0). \quad (2)$$

де  $v_p$  - швидкість брального паса;

$S_n$  - сила натягу паса при виході з  $n$  - го рiвчака;

$S_0$  - сила натягу веденої вітки паса.

Під керівництвом проф. Хайліса Г.А. проведено динамометрування льнозбиральних машин. Встановлено, що тяговий опір бральних апаратів і крутний момент на валу збільшується із ростом швидкості руху машини. Продовжуючи вивчення енергетики апаратів з поздовжніми бральними рiвчаками нами [5] дано теоретичні обґрунтування залежності розподілу складових потужності брання від кута нахилу стебла, що витягується з ґрунту бральними апаратами з поперечними рiвчаками. Однак при цьому не вивчено динаміку зміни складових потужності брання при переміщенні стебла льону по бральному рiвчаку.

**Постановка завдань.** Мета дослідження – провести теоретичні дослідження енергетики процесу брання стебел льону бральним апаратом з прямолінійними поперечними бральними рiвчаками.

**Викладення основного матеріалу.** Бральний апарат взаємодіє із стеблами льону при бранні таким чином, що бральний пас здійснює лише частину роботи на витягування стебел з ґрунту. Іншу частину роботи виконує переносний поступальний рух машини.

Потужність, що використовується при бранні стебла, визначається за формулою [3]:

$$N = N_p + N_M = TV_p \cos(\bar{T}, \bar{V}_p) + TV_M \cos(\bar{T}, \bar{V}_M), \quad (3)$$

де  $N_p$  і  $N_M$  – потужності, що передаються бральному пасу та машині на витягування стебла з ґрунту;

$T$  – сила витягування стебла льону з ґрунту;

$\bar{T}, \bar{V}_p, \bar{V}_M$  – кути між векторами сили  $T$  та швидкостей брального паса  $V_p$  та машини  $V_M$ .

Вектор сили  $T$  напрямлений по осі стебла у бік його витягування.

© С.М. Юхимчук, С.Ф. Юхимчук, Н.О. Толстушко, Л.М. Дацюк

Сила  $T$  визначається експериментально і залежить від багатьох факторів: властивостей ґрунту, сорту льону, густини стеблестою, характеристик стебел льону. Значення сили  $T$  по мірі витягування кореня стебла із ґрунту змінюється. Однією із найхарактерніших залежностей сили  $T$  від довжини витягування стебла  $\Delta\rho$  є параболічна [3], за якою сила  $T$  із збільшенням  $\Delta\rho$  зростаючи, досягає максимуму ( $T_{max}$ ) та падає.

Формула цієї залежності:

$$T = 4T_{max} \frac{\Delta\rho}{a} \left(1 - \frac{\Delta\rho}{a}\right), \quad (4)$$

де  $a$  – довжина шляху дії сили (це довжина, на яку потрібно витягнути стебло із ґрунту до повного відриву кореня).

За [3]  $T_{max}=5$  Н,  $a = 0,05$  м. Припускаємо, що при бранні кут нахилу стебла не впливає на значення сили  $T_{max}$ .

На рис. 2 дано схеми будови (а) і роботи (б) частини брального рівчака, що забезпечує брання стебел. Стебла льону затискаються між бральним пасом та бральною пластиною у зоні  $AB$ , яка характеризується довжиною  $S$ . Початок координат співпадає з проекцією точки  $A$  на площину  $XOY$ . Пунктиром вказано можливу зону розташування в ґрунті коренів стебел, які попадають у гирло брального рівчака.

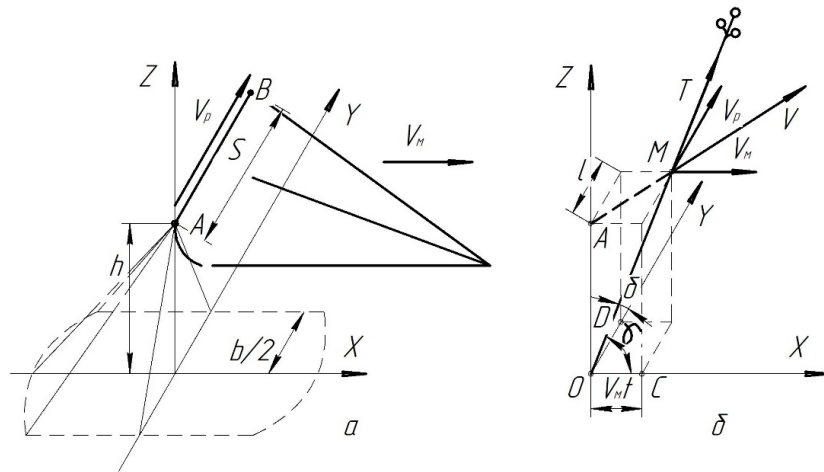


Рис.2. Схема роботи брального апарата

На рис. 2,б зображено положення точки затискання стебла  $M$  через деякий час  $t$ . За цей час бральний апарат перемістився на відстань, рівну  $V_M t$ , а затиснута в бральному рівчаку частина стебла під впливом брального пасу переміститься по бральній пластині на відстань  $l = V_p t$ . При цьому стебло льону, затиснуте у точці  $M$  з координатами  $(X_n; Y_n; Z_n)$ , утворює із координатними осями відповідні кути: кут  $\gamma$  з віссю  $OX$  та кут  $\delta$  з віссю  $OY$ .

Місце розташування у ґрунті кореня стебла визначається точкою  $O$  із координатами  $(X; Y)$ .

З точки  $M$  виходять вектори:  $T, V, V_M, V_p$ . Тут  $V$  – вектор абсолютної швидкості переміщення точки  $M$  у просторі. Тоді:  $V = V_M + V_p$ .

На рис. 2,б видно, що вектори проєкцій цих швидкостей утворюють із стеблом льону ті ж самі кути, що й відповідні ним осі координат. Тому рівняння (3) набере вигляд:

$$N = N_p + N_M = TV_p \cos\delta + TV_M \cos\gamma. \quad (5)$$

Розглядаючи прямокутний трикутник  $OCM$  (рис. 2,б) видно, що  $OM = \rho_n$  (відстань від точки  $M$  до точки  $O$ ), а  $OC = X_n - X$ . Тоді:

$$\cos\gamma = \frac{OC}{OM} = \frac{X_n - X}{\rho_n}. \quad (6)$$

Аналогічно із трикутника  $ODM$ :

$$\cos\delta = \frac{OD}{OM} = \frac{Y_n - Y}{\rho_n}. \quad (7)$$

Підставляючи у рівняння (5) замість відповідних елементів вирази для їх обчислень (6) - (7) отримуємо систему рівнянь для обчислення потужностей:

$$\left. \begin{aligned} N_p &= TV_p \frac{Y_n - Y}{\rho_n}, \\ N_M &= TV_M \frac{X_n - X}{\rho_n}, \\ N &= N_p + N_M. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

За рівняннями (8), користуючись формулами (4) і (5) для знаходження їх елементів розроблена програма для ПЕОМ, для оперативного отримання результатів розрахунків за різноманітними можливими комбінаціями початкових параметрів. Це дозволяє прослідкувати зміну потужності  $N$  та розподіл її складових  $N_p$  і  $N_M$  від переміщення разом з бральним пасом точки затискання стебла по бральній пластині  $l \in [0; S]$ , при бранні стебел із відповідними координатами  $X$ ,  $Y$  точок розташування коренів. Також враховувалось те, що брання стебла проходить при умові:

$$0 \leq \rho_n - \rho_0 \leq a. \quad (9)$$

Коли  $\Delta\rho > a$  відбувається повне витягування стебла льону ( $N$ ,  $N_p$  і  $N_M$  стають рівними нулю).

У цій програмі була розроблена частина для знаходження роботи  $A$ , яка витрачається на брання стебла, а також показника  $\eta$ , який рівний відношенню частини роботи, що виконується бральним пасом, до частини роботи, що припадає на тягове зусилля трактора.

Графічно робота  $A$ , а також і її складові  $A_p$  та  $A_M$ , є площа фігури, помножена на  $l/V_p$ , що утворені відповідними кривими залежності  $N$ , а також  $N_p$  і  $N_M$  від переміщення  $l$  і віссю  $l$  при  $N > 0$  (рис. 3).

Формули для обчислення  $A$ ,  $A_p$  та  $A_M$ :

$$\left. \begin{aligned} A &= \int_0^l N dt = \frac{1}{V_p} \int_0^l N dl = \frac{1}{V_p} \sum_{i=0}^n (N_i \cdot \frac{l}{n}), \\ A_p &= \frac{1}{V_p} \sum_{i=0}^n (N_{pi} \cdot \frac{l}{n}), \\ A_M &= \frac{1}{V_M} \sum_{i=0}^n (N_{Mi} \cdot \frac{l}{n}). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

при  $N \geq 0$ ,

де  $t$  – час, що відповідає переміщенню  $l$  стебла по бральній пластині довжиною  $S$ .

Досліджувалась енергетика брання стебел льону розроблюваним бральним апаратом при таких його параметрах:  $S = 0,3$  м,  $h = 0,2$  м,  $b = 0,38$  м,  $V_M = 2,01$  м/с,  $V_p = 2,35$  м/с враховуючи, що для стебел льону  $T_{max} = 5$  Н і  $a = 0,05$  м.

Знизу рис. 3 у масштабі зображено проекцію на горизонтальній площині  $XOY$  траєкторії переміщення точки  $M$  затискання стебла у бральному рівчаку при переміщення на відстань  $l$ , з точки  $M$  показані проекції швидкостей  $V_p$  і  $V_M$ , пунктиром вказано можливу зону розташування в ґрунті коренів стебел, які попадають у гирло брального рівчака при мінімальному куті нахилу стебел до горизонту  $30^\circ$  та ширині захоплення бральної секції  $b = 0,38$  м.

Розглядали вибірково координати ( $X$ ;  $Y$ ) стебел, у яких корені розташовані на границі та у центрі умовної зони і позначені кружечками (рис. 2, б). За результатами розрахунків для стебел  $a$ ,  $b$ ,  $v$ ,  $z$ ,  $d$ ,  $e$  побудовано графіки розподілу потужностей  $N_p$ ,  $N_M$ ,  $N$  в залежності від переміщення  $l$  точки затискання стебла по бральній пластині. Брання не відбудеться тільки для стебла  $e$  – випадок, коли стеблестій буде полеглий проти руху брального апарата. Це можна усунути зменшуючи поступальну швидкість машини  $V_M$ . Наприклад, при  $V_M = 0,69$  м/с брання цього стебла забезпечується (випадок  $e^*$  на рис. 3).

Із графіків рис. 3 видно, що в залежності від розташування у ґрунті стебел, розподіляється потужність брання між завантаженням брального паса і тяговим зусиллям машини. Можливі випадки, коли одна із складових потужності  $N_p$  приймає від'ємні значення (стебло  $d$ ,  $e$  і  $e^*$ ). Це явище розглядалось в [5] і вказує на циркуляцію потужності. Так при бранні стебел  $d$ ,  $e$  частина потужності  $N_M$ , що не задіяна на витягування стебла, передається через бральний пас і механізм приводу назад двигуну. Для стебла  $e$  деяка частина потужності  $N_p$ , що не задіяна бранням, використовується для переміщення машини, при цьому відповідно зменшується тягове зусилля агрегату.

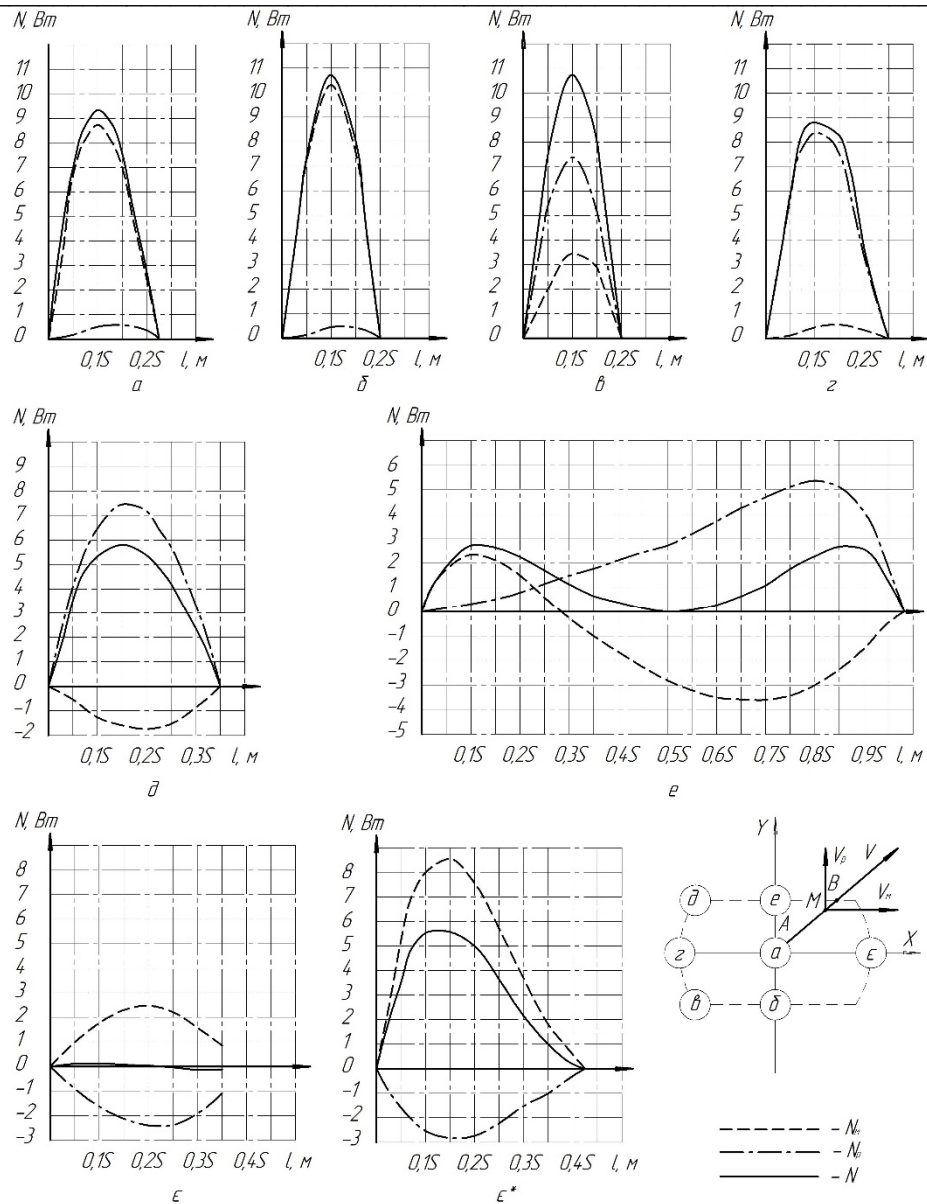


Рис. 3. Розподіл потужностей при бранні стебла

Проведені розрахунки показали, що робота брання не залежить від розміщення стебел в елементарному пучку та рівна 0,16 Дж.

Так, як при бранні прямостоячого льону, стебла, що утворюють елементарний пучок [3], знаходяться у третьому та у четвертому октантах (рис. 3), то для них побудовані графіки ще раз підтвердили, що вибрані параметри брального апарата задовольняють вимоги процесу брання.

Розглядаючи граничні стебла цього пучка, які відмічені точками на рис. 3, а точніше отримані при їх бранні значення  $A_p$  та  $A_M$ , можна взяти як розподілена енергія, яка припадає на привод брального пасу та переміщення машини при бранні прямостоячого льону.

$$\eta_{-p} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{Pi}}{\sum_{i=1}^n A_{Mi}} \quad (11)$$

В даному випадку  $\eta_{cp} = 0,219$ .

За одну секунду бральним апаратом витягується кількість стебел  $J_c$ , що рівна:

$$J_c = B V_M t i, \quad (12)$$

В нашому випадку при  $B = 1,5$  м,  $V_M = 2,01$  м/с,  $t = 1$  с, прийнявши  $i = 1600$  стебел на м<sup>2</sup>, отримано, що за 1 с вибирається  $j_c = 4824$  стебел. Тоді секундна робота брання буде рівна:

$$A_c = A_{jc} = 0,16 \cdot 4824 = 771,84 \text{ Дж.} \quad (13)$$

Враховуючи те, що  $A_c = A_{pc} + A_{mc}$  і  $\eta_{cp} = A_{pc}/A_{mc}$  отримано наступні залежності:

$$A_{pc} = A_c \eta_{cp} / (1 + \eta_{cp}) \quad \text{і} \quad A_{mc} = A_c / (1 + \eta_{cp}) \quad (14)$$

з яких визначають  $A_{pc} = 138,67 \text{ Дж}$ ;  $A_{mc} = 633,17 \text{ Дж}$ .

При роботі апарату на полеглому льоні в гирло бральних рівчаків попадають стебла льону, нахилені проти руху машини, тобто корені яких для розглядуваного випадку розташовані у першому та другому октантах (рис. 3). Брання цих стебел можна забезпечити як зміною поступальної швидкості машини (випадок  $\epsilon^*$  рис. 3), що є недоцільним через зменшення продуктивності агрегату, так і збільшення зони затискання стебел у бральному рівчаку.

**Висновки.** Приведено графічні залежності розподілу потужності брання між завантаженістю брального паса і тяговим зусиллям машини. Розрахунки підтвердили, що вибрані параметри апарату повністю задовольняють вимоги процесу брання. Робота брання не залежить від розміщення стебел у елементарному пучку і у всіх випадках рівна 0,16 Дж.

#### Список використаних джерел

1. Пат. 10753А Україна, МКл А01D45/06. Льонобральний апарат / С.Ф. Юхимчук, Г.А. Хайліс (Україна) - № 95073257; Заявл. 11.07.95; Опубл. 25.12.96, Бюл. № 4.
2. Юхимчук, С.М. Обґрунтування довжини бральної пластини льонобралки / С. М. Юхимчук, М.М Толстушко., С.Ф. Юхимчук // Тези доповіді VII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 113-ї річниці від дня народження д.т.н., професора, членакореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2020 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2020.
3. Хайліс, Г.А. Теория льноуборочных машин / Г.А. Хайліс - М.: «Росинформагротех», 2011. – 322 с.: ил.
4. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины // Теория, расчет, проектирование и испытание. - М.: Сельхозгиз, 1955.- 764 с., ил.
5. Хайліс Г.А., Юхимчук С.Ф. О загрузке ремней аппаратов при тереблении стеблей // Сільськогосподарські машини : Зб. наук. ст. Випуск 2. - Луцьк : ІАУ, Волинське відділення.- 1996. С.93-105.

**Рецензент** Ягелюк Світлана Володимирівна, професор кафедри товарознавства та експертизи в митній справі Луцького національного технічного університету, доктор технічних наук, доцент.