

УДК 631.35:633

Налобіна О. О., д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Пуць В. С., к.т.н., доцент** (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДРІВНЮВАННЯ СТРІЧКИ ЛЬОНУ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЇ ЇЇ ПІДБИРАННЯ

У статті викладено результати теоретичних досліджень процесу підрівнювання стрічки стебел льону, яка транспортується в обертачеві-підбирачеві ОСН-1.

Ключові слова: кулачок, удар, стебло.

Вступ. На сьогоднішній день льонарство знаходиться у стані стагнації, причинами якої є порушення і розрив економічних зв'язків, недостатнє фінансування і підтримка галузі з боку держави, старіння виробничих потужностей льонопереробних підприємств; відсутність потрібного парку льонозбиральної техніки в господарствах. Реалізація ідеї розвитку лляної галузі потребує:

- 1) розробки та впровадження нових, адаптованих до конкретних кліматичних умов, технологій вирощування та збирання льону;
- 2) поглиблення досліджень, спрямованих на удосконалення засобів механізованого збирання льону.

Останнє питання потребує особливої уваги через те, що збирання льону є найбільш трудомістким процесом у його виробництві, і саме від збиральних робіт залежить якість і конкурентноздатність готової продукції льонарства.

Особливість кінцевого продукту, який отримують сільськогосподарські підприємства, полягає в тому, що треста або льоносоломка не є продуктом, який реалізується на ринку, він потребує подальшої переробки льонопереробними заводами.

У даний час кінцевим продуктом у лляному комплексі АПК є волокно, насамперед довге. Для отримання такої продукції прагнуть інтенсифікувати збиральні роботи за рахунок впровадження рулонної технології. Збирання льону рулонами найменше залежить від змін погодних умов, характеризується потоковістю технологічного процесу, а період збирання і втрати врожаю мінімальні. Але дана технологія має суттєвий недолік – неякісні рулони. Головний недолік – це розтягнутість, яка призводить до зменшення виходу довгого волокна. Згадана

вище проблема, що виникає при виконанні збиральних робіт, формується на декількох етапах. По-перше, лляна стрічка, що розстеляється на полі для вилежування при збиранні льону льонокомбайном або льонобралкою вже має деяку розтягнутість. В процесі вилежування треста потребує ворущіння та перевертання. Виконання цих операцій супроводжується подальшим збільшенням розтягнутості. А при підборі льонотрести підбирачами розтягнутість стрічки льону ще дещо збільшується, що дає високий показник розтягнутості паковок у вигляді снопів або рулонів, і, як наслідок, зменшення виходу довгого волокна.

Враховуючи вищесказане, розробка теоретичних засад процесу підрівнювання стрічки льону з метою зменшення розтягнутості є важливою науково-практичною задачею, вирішенню якої й присвячена дана робота.

Аналіз останніх досліджень. Процес підбору та підрівнювання стрічки льону, а також параметри робочих органів значною мірою залежать від фізико-механічних властивостей стебел льону. Дослідженнями фізико-механічних властивостей стрічки стебел льону займалися багато вчених. Стиск стебел та їхні пружні властивості досліджували Г.А. Хайліс [1], П.А. Сторц [2], І.В. Крагельський [3], М.М. Биков [4]. Авторами встановлені залежності стиску і відновлення стрічки після зняття навантаження при різних схемах його прикладання та різному стані стебел. Деформації кручення і згину стебел досліджував Г.А. Хайліс [1]. Ним було встановлено, що ці деформації зустрічаються при роботі обертачів стрічок льону, при повороті групи рослин в бральних рівчаках внаслідок різних швидкостей пасів. Властивості стебел льону досліджував професор І.В. Крагельський [3]. Зокрема, він досліджував процес стискання стебел, прийшовши до висновку, що навіть при незначних навантаженнях більша частина деформації є залишковою (при стисканні деревини стебла), а при стисканні волокнистої частини – пружною. О.О. Налобіна [5] досліджувала поведінку стебел льону при прикладанні згинаючих зусиль, отримана діаграма згинальних моментів і визначена максимально допустима сила згину. Досліджено також викривлення стебел під час очосу та виведена умова, виконання якої унеможливило злам стебел під час очосу.

Багато авторів займалися також дослідженням процесів вирівнювання стрічок льону, враховуючи те, що якість виконання цього процесу суттєво впливає на розтягнутість стрічки й на вихід довгого волокна.

Дослідженням ефективності застосування підрівнюючих механізмів для зменшення розтягнутості стрічки льону займалися В.Г. Черніков,

О.М. Зінцов, Л.В. Родіонов, В.М. Аносов, В.М. Луценко, і М.М. Толстушко. В.Г. Черніков [6] розробив конструкцію похилого омлепідбивача, дослідив роботу запропонованого механізму. Автором встановлені параметри підбиваючого пристрою, зокрема радіуси шківів, довжина робочої вітки пасу. Але всі дослідження виконувалися для підбиваючого пристрою, який застосовувався у підбирачі ПТП-1 і, як зазначено вище, не використовується через низьку ефективність роботи. В.М. Луценко [7] досліджував роботу горизонтального і похилого планкового вирівнювача стрічки, визначив роботу, затрачену на деформацію шару стебел при їх поздовжньому стиску, вивів формулу для визначення довжини планки вирівнювача. Дослідження, виконані автором, проведені без врахування властивостей стрічки льону, які, безперечно, впливають на параметри підрівнюючого пристрою. Важливі дослідження у даних напрямках виконав М.М. Толстушко [8]. Його дослідження присвячені створенню пристрою до льонокомбайна для підрівнювання і розстилання стрічки льону з меншою розтягнутістю. О.М. Зінцов [9] провів дослідження впливу швидкості комлепідбивання на процес вирівнювання стебел. Автором виконане обґрунтування потреби орієнтування стрічки льону перед подачею її у очісувальний апарат. В результаті проведених досліджень отримані математичні моделі досліджуваних процесів.

Аналіз існуючих досліджень показав, що до останнього часу не розроблялись і не досліджувались комлепідбивачі, які б забезпечували одночасне розпушування стрічки та підрівнювання її підбілками з двох кінців стебел. З викладеного вище випливає, що хоча для вирішення задачі зменшення розтягнутості паковок у вигляді снопів або рулонів льону і підвищення їх вирівняності проведено багато дослідно-конструкторських робіт та досліджень, ця задача до нинішнього часу не вирішена.

Методика досліджень. Запровадження операції підрівнювання стрічки льону з метою зменшення її розтягнутості, як показав проведений аналіз існуючих досліджень, є необхідним. Але за умови здійснення цієї операції на етапах розстилання або обертання стрічки, як пропонується авторами відомих досліджень, є неефективним через те, що при виконанні повторного обертання та розпушування стрічки величина відносної розтягнутості знову зростає. Виявлено, що чинні конструкції підрівнюючих пристроїв не забезпечують суттєвого зменшення розтягнутості стебел; крім того, конструктивні рішення підрівнювачів характеризуються складністю виконання. Підрівнювачі у наявних машинах діють лише на корінці стебел, причому не одинарних, а переплетених між собою. За таких умов під час їх роботи корінцеві

частини більшості стебел замість того, щоб переміститися у напрямку підбивання, підгинаються, що не покращує вирівняності стрічки.

Постановка завдання. Враховуючи це, сформулюємо **мету даної роботи:** теоретично обґрунтувати умови за яких забезпечується одночасне розпушування та підрівнювання стрічки підбійками механізму підрівнювання з двох кінців стебел.

Результати досліджень. Причиною незначного зменшення розтягнутості, на нашу думку, є те, що комлепідбивачам в існуючих машинах доводиться діяти на корінці стебел, причому неординарних і переплечених між собою. При таких умовах під час роботи комлепідбивача корінцеві частини більшості стебел замість того, щоб переміститися у напрямку підбивання, підгинаються, що не покращує вирівняності снопа або рулону. В той же час, якщо перед підбиванням стебelloвої стрічки її підкинути для того, щоб розпушити шар стебел і відділити стебла одне від одного, а потім подати ці стебла в такому стані в зону, де діють комлепідбивачі з двох сторін (і в кореневій частині стебел, і у верхній їх частині), то кореневі і верхівкові частини стебел «підкорилися» б ударам комлепідбивачів і перемістилися б у потрібному напрямку, тобто створилася б ситуація, при якій комлепідбивачі (підбійки) діяли б на окремі стебла або невеликі групи слабо зчеплених стебел, і ці стебла під дією ударів підбійок перемістилися б так, як потрібно, щоб зменшилась розтягнутість стебел у снопах або рулонах. Саме у цьому напрямку виконувались наші дослідження. На рис. 1 подано схему транспортеру та кулачкових механізмів, які забезпечують струшування стебел і тим самим забезпечують ефективність роботи підбиваючих дошок (на схемі не показані). Відрив стебел від пасів транспортера, які їх транспортують, забезпечується тим, що під пасами встановлені кулачки, які, обертаючись, періодично ударяють знизу по пасах зі стеблами і створюють таким чином умови для відриву стебел. Схему цього явища подано на рис. 1.

Аналіз явищ, що мають місце під час удару кулачка об стрічку рухомого транспортера доволі складний. Ударна сила через стебла нижнього ряду буде передаватись сусіднім та верхнім стеблам. Причому напрямку сили удару буде залежати від схеми їхнього взаємного розташування. На напрямок і величину швидкості підйому (польоту) будуть впливати не лише величина ударної сили, а й наявність сил тертя між стеблами, які впливають на величину тангенціальних складових швидкості стебел після струшування. Як відомо з теорії удару, наявність тангенціальних складових веде до виникнення обертання тіл відносно осі, що проходить через центр мас.

Враховуючи складність процесу, ми змодельовали рух стебел після струшування, припускаючи, що стрічка містить два шари стебел. Початкові контакти кульок (які є моделлю стебел) відповідають наведеним на рис. 1, а схемам укладання.

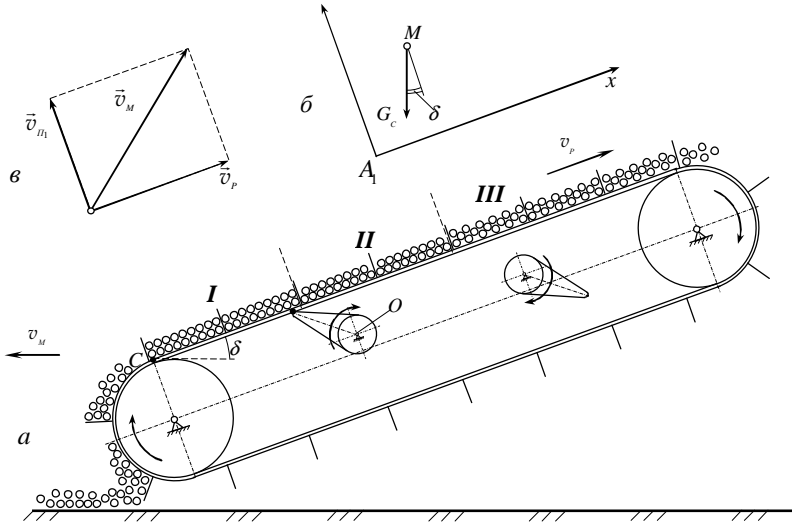
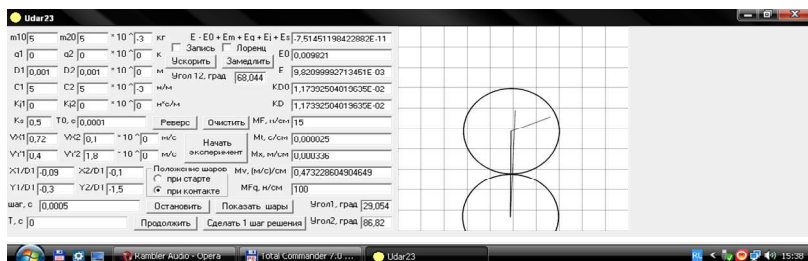


Рис. 1. Схема транспортера для підйому стебел з поверхні поля і транспортування з метою їх підрівнювання при різних варіантах (I, II, III) укладання стебел у стрічку (а), схема для розрахунку траєкторії польоту стебла (б) та розкладання перпендикулярної складової швидкості пасу на складові (в)

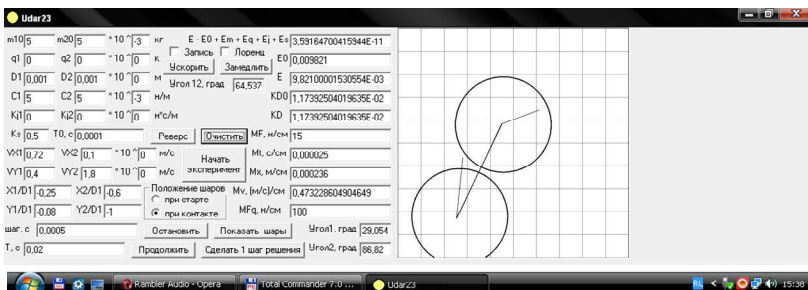
На рис. 2 подані деякі результати виконаного обчислювального експерименту, який виконувався за допомогою програми «Udar 2.3». На представленому полі результатів відображені переміщення кульок і траєкторії їхнього руху. Слід зауважити, що дана програма дає можливість врахувати наявність сил тертя в місці контакту тіл.

Аналіз отриманих результатів виявив, що стрічка «розсипається» на окремі стебла за дуже малий проміжок часу ($T \ll 1$ с) незалежно від відносного розташування стебел нижнього та верхнього шарів внаслідок впливу кулачка вони рухаються приблизно за однаковою траєкторією в напрямку руху стрічки транспортера, не заважаючи одне одному.

Враховуючи вищесказане, теоретичне дослідження процесу польоту стебла, який обумовлено впливом кулачків, виконаємо для одного окремого стебла.



а



б

Рис. 2. Результати досліджень з використанням програмного продукту «Udar 2.3»: розташування стебел *a* – у момент удару; *б* – через проміжок часу *T*, після удару

Враховуючи вищесказане, теоретичне дослідження процесу польоту стебла, який обумовлений впливом кулачків, виконаємо для одного окремого стебла.

Визначимо умови, при яких має місце підкидання стебел верхньою віткою пасу. Нехай на верхній вітці пасу, яка нахилена до горизонту на кут δ , лежать стебла (рис. 3). Пас приводиться в рух, і кожна його точка рухається паралельно до прямої $a_1 - a_1$, відхиленої від вертикалі на кут δ . Кут δ повинен бути меншим кута тертя, щоб не допустити сповзання стебла з площини пасу під дією складової сили тяжіння G'' , яка діє паралельно вітці пасу.

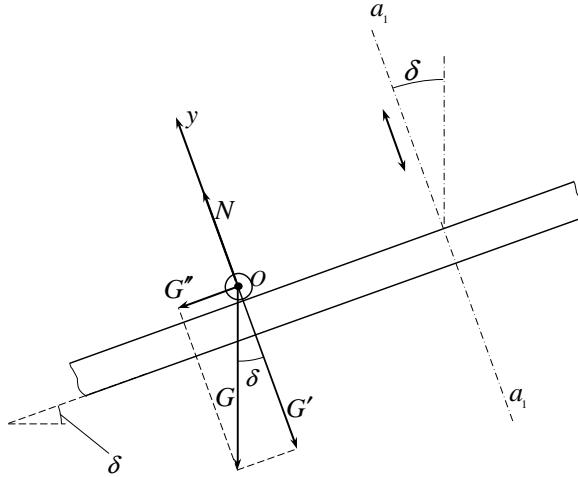


Рис. 3. Схема для визначення умов відриву стебла від пасу

Для розв'язку цієї задачі прийемо стебло за матеріальну точку і складемо диференціальне рівняння руху стебла в проекції на вісь Oy , яка паралельна лінії $a_1 - a_1$, причому починається вісь Oy в центрі стебла, а додатна її сторона направлена вгору:

$$m_C \ddot{y} = N - G',$$

де m_C – маса стебла, кг; \ddot{y} – прискорення стебла, m/c^2 ; N – сила тиску пасу на стебло, Н; G' – складова сили тяжіння стебла; $G' = G \cdot \cos \delta$, Н. Сила $G = m_C g$, де g – прискорення вільного падіння.

З урахуванням цього отримаємо: $m_C \ddot{y} = N - m_C g \cos \delta$, звідки $N = m_C (\ddot{y} + g \cos \delta)$. В момент відриву стебла $N = 0$. Тоді рівняння набуває вигляду $m_C \ddot{y} = 0 - m_C \cos \delta$ або $0 = m_C (\ddot{y} + g \cos \delta)$, звідки маємо:

$$\ddot{y} = -g \cos \delta. \quad (1)$$

При такому значенні прискорення відбувається відрив стебла від поверхні пасу. Це означає, що відрив стебла від поверхні пасу є можливим,

якщо воно рухається з прискоренням, рівним $g \cos \delta$. Вектор прискорення направлений вниз (прискорення від'ємне).

З рівняння (1) видно, що при зменшенні кута δ , тобто при зростанні косинуса кута, необхідно стеблу надавати більшого прискорення. Цього можливо досягти, якщо кулачковий механізм обладнати автоматичним пристроєм, який регулює швидкість обертання кулачка залежно від конкретного значення кута δ , яке при роботі агрегату може часто змінюватися, або якщо добитися, щоб під час початку взаємодії кулачків з пасами, мало місце зростання за величиною прискорення, направленою вниз. Останнє має місце в розробленому нами механізмі. Отже, кулачковий механізм повинен під час удару надавати пасам прискорення $w_{\dot{\gamma}_{\min}}$, яке визначиться:

$$w_{\dot{\gamma}_{\min}} = -g \cos \delta_{\max}, \quad (2)$$

де δ_{\max} – максимально можливе значення кута δ , град.

Проведеними раніше [11] дослідженнями закономірності відгину верхніх віток пасів транспортера під дією кулачків, які обертаються, встановлено, що прискорення $w_{\dot{\gamma}}$ відгину точок пасів вгору, направлено перпендикулярно до поверхонь пасів.

Умова (2) виконається, якщо пасам буде надано необхідного прискорення відразу ж після ударів кулачків по них, тобто при часі t , рівному нулю або близькому до нуля. Цьому часу відповідає прискорення $w_{\dot{\gamma}_1}$ [10]:

$$w_{\dot{\gamma}_0} = -l_{OA} \omega^2 \left(1 + \frac{\sin \beta_0}{\frac{L_0}{l_{OA}} + \sin \beta_0} \right) \cos \beta_0, \quad (3)$$

де l_{OA} – відстань між центром обертання кулачка та початковою точкою дотику його з пасом; $\beta_0 - 0,5 \alpha$, тут $\alpha = \omega t$ – кут повороту кулачка; L_0 – довжина хорди кривої, по якій проходить вершина кулачка від початку контакту з пасом й до закінчення. Тоді з рівнянь (2) і (3):

$$w_{I1} = -g \cos \delta_{\max} = -l_{OA} \omega^2 \left[1 + \frac{\sin(\beta_0 - \alpha_0)}{\frac{L_0}{l_{OA}} + \sin \beta_0} \right] \times$$

$$\times \cos \left[\beta_0 - \alpha_0 - \frac{\cos(\beta_0 - \alpha_0) - \cos \beta_0}{\frac{L_0}{l_{OA}} + \sin \beta_0} \right].$$

Отримана рівність встановлює зв'язок між параметрами l_{OA} , L_0 , β_0 , ω , α_0 і δ_{\max} механізму:

$$l_{OA} \omega^2 \left[1 + \frac{\sin(\beta_0 - \alpha_0)}{\frac{L_0}{l_{OA}} + \sin \beta_0} \right] \cos \left[\beta_0 - \alpha_0 - \frac{\cos(\beta_0 - \alpha_0) - \cos \beta_0}{\frac{L_0}{l_{OA}} + \sin \beta_0} \right] -$$

$$-g \cos \delta_{\max} = 0. \quad (4)$$

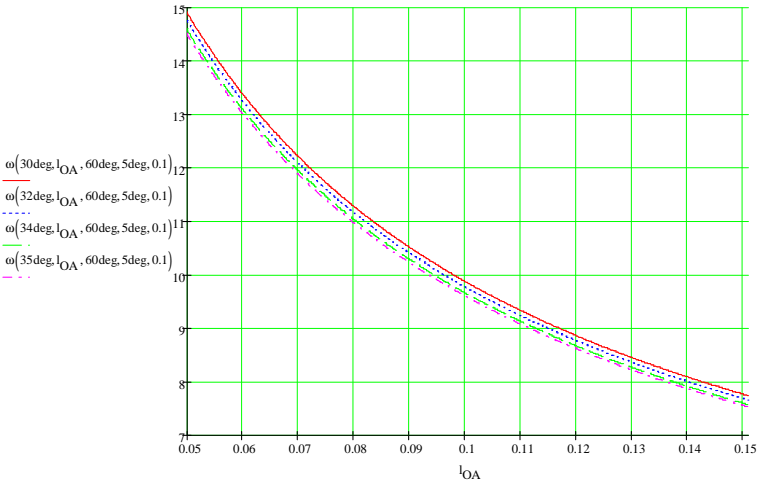
Розв'язком даного рівняння знаходимо необхідне значення кутової швидкості обертання кулачка:

$$\omega = \sqrt{\frac{g \cos \delta_{\max}}{l_{OA} \left[1 + \frac{\sin(\beta_0 - \alpha_0)}{\frac{L_0}{l_{OA}} + \sin \beta_0} \right] \cos \left[\beta_0 - \alpha_0 - \frac{\cos(\beta_0 - \alpha_0) - \cos \beta_0}{\frac{L_0}{l_{OA}} + \sin \beta_0} \right]}}.$$

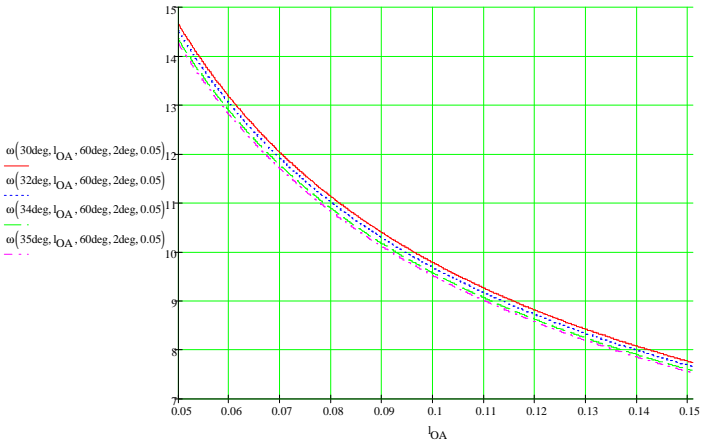
При такій кутовій швидкості обертання кулачка відрив стебла від поверхні пасу відбудеться практично одночасно з ударом вершини кулачка по пасу. На рис. 4 наведено графічні залежності, отримані за допомогою програми MathCAD 13.

Аналіз отриманих графічних залежностей показав, що на потрібну величину кутової швидкості обертання кулачка найбільше впливають

кути β_0 і δ та співвідношення величин $\frac{L_0}{l_{OA_0}}$.



а



б

Рис. 4. Графічні залежності кутової швидкості обертання кулачків від його параметрів і кута нахилу транспортера: а – $\beta_0 = 60^\circ$; $\alpha_0 = 5^\circ$; $L_0 = 0,1$ м; б – $\beta_0 = 60^\circ$; $\alpha_0 = 2^\circ$; $L_0 = 0,05$ м

Висновок. На основі дослідження процесу польоту стебла при його підкиданні відігнутою віткою паса транспортера обґрунтована умова відриву стебел від транспортерної стрічки; виведені рівняння для визначення кутової швидкості обертання кулачка. Встановлено, що для створення потрібного кінематичного режиму механізму струшування радіус кулачка необхідно приймати в межах 0,05-0,10 м.

1. Хайлис Г. А. Механика растительных материалов / Г. А. Хайлис. – К. : УА-АН, 2002. – 374 с. 2. Сторц П. А. Исследования рабочих органов льнокомбайна ЛК-7 с целью увеличения его производительности : дисс. ... канд. техн. наук / П. А. Сторц – М., 1952. – МИМЭСХ. – 158 с. 3. Крагельский И. В. Трения волокнистых веществ / И. В. Крагельский. – М.-Л. : Гизлегпром, 1941. – 246 с. 4. Быков Н. Н. Уборка льна / Быков Н. Н., Луценко В. М., Смирнов В. И. – М. : Агропромиздат, 1990. – 80 с. 5. Налобіна О. О. Механіко-технологічні основи процесів взаємодії робочих органів льнозбирального комбайна з рослинним матеріалом : дис. ... доктора техн. наук: 05.05.11 / Олена Олександрівна Налобіна. – Луцьк., 2008. – 365 с. 6. А. с. 202616 СССР, МКИ А01D45/06. Выравниватель стеблей льна / В. Г. Черников, И. Ф. Дворниченко, В. И. Глухов, В. А. Орышака, В. И. Корягин, Н. Н. Семенов (СССР). – №1091073/30; заявл. 19.07.66; опубл. 14.09.67, Бюл. № 19. 7. А. с. 635913 СССР, МКИ А01D45/06. Выравниватель стеблей льна / В. М. Луценко, А. И. Броцман, В. Е. Логинов (СССР). – №2476542/30; заявл. 14.04.77; опубл. 05.12.78, Бюл. № 45. 8. Толстушко М. М. Обґрунтування параметрів і режиму роботи підрівнювача-розстилача стрічки стебел льону : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 Микола Миколайович Толстушко. – Луцьк, 2004. – 229 с. 9. Зинцов В. Ю. Обоснование и разработка процессов и машин для раздельной уборки льна-долгунца : автореф. дисс. на соиск. науч. ст. доктора техн. наук: спец. 05.20.01 «Технология и средства механизации сельского хозяйства» / В. Ю. Зинцов. – М., 2007. – 32 с. 10. Налобіна О. О. Кінематичний аналіз механізму підбійки / О. О. Налобіна, В. С. Пуць // Сільськогосподарські машини. – Луцьк : ЛДТУ. – 2000. – № 6. – С. 103-111.

Рецензент: д.т.н., професор Хайліс Г. А. (Луцький національний технічний університет)

Nalobina O. O., Doctor of Engineering, Professor (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

Puts V. S., Candidate of Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University).

RESEARCH OF TAPE TRIMMING FLAX IN THE PERFORMANCE OF ITS OPERATIONS PICKING

The paper presents the results of theoretical studies of the process trim strip flax, which is transported turner-up SNS-1.

Keywords: fist, punch, stem.

Налобина Е. А., д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природопользования, г. Ровно), **Пуць В. С., к.т.н., доцент** (Луцкий национальный технический университет, г. Луцк)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДРАВНИВАНИЯ ЛЕНТЫ ЛЬНА В ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ЕЕ ПОДБИРАНИЯ

В статье изложены результаты теоретических исследований процесса подравнивания ленты льна, которая транспортируется оборачивателем–подборщиком ОСН-1.

Ключевые слова: кулачок, удар, стебель.