

УДК 631.358:633.521

© І.М. Дударев, д.т.н.

Луцький національний технічний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДИСКОВО-ПЛАСТИНЧАТОГО ЛЬОНОБРАЛЬНОГО АПАРАТА

У статті обґрунтована конструкція дисково-пластинчатого льонобрального апарата та представлені результати теоретичних досліджень із обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів запропонованого льонобрального апарата.

ЛЬОН, ЛЬОНОБРАЛЬНИЙ АПАРАТ, ЗБИРАННЯ ЛЬОНУ, ЛЬОНОЗБИРАЛЬНА ТЕХНІКА, ЛЬОНОБРАЛКА

Постановка проблеми. Основною технологічною операцією під час збирання льону є його брання, тобто витягування із ґрунту. Робочі органи чи поверхні льонозбиральної техніки мають забезпечувати, у першу чергу, високу чистоту брання льону та унеможливити пошкодження стебел та втрату насіння. Серед різноманітних конструкцій льонобральних апаратів найбільш поширеними є пасові, які забезпечують високу чистоту брання льону та формування стрічки льону із паралельним розташування стебел у ній. Основними недоліками пасових апаратів є складний привод та великі габаритні розміри. Сучасні технології первинної переробки стеблової частини урожаю льону, зокрема з метою виділення короткого волокна, не вимагають паралельності стебел льону (ляної трести) під час їх переробки, тому це дозволяє спростити конструкцію льонобрального апарата. Науковцями запропоновано кілька таких конструкцій, але, у переважній більшості, такі льонобральні апарати не забезпечують високої чистоти брання льону внаслідок конструктивних особливостей.

Тому, дослідження спрямовані у напрямі розробки льонобрального апарата, який би забезпечував високу чистоту брання льону та мав би простий привод, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий внесок у теорію розрахунку льонобральних апаратів зробили такі відомі науковці, як Хайліс Г.А. [1,2], Летошнев М.Н. [3], Ковальов М.М. [4], Налобіна О.О. [5], Шейченко В.О. [6], Юхимчук С.Ф. [7] та інші. У наукових працях цих науковців детально розглянуті процеси взаємодії робочих органів льонозбиральних машин з льоном та складовими його урожаю, а також викладені результати теоретичних досліджень із обґрунтування раціональних параметрів робочих органів. Разом з тим, розробка нової конструкції льонобрального апарата потребує додаткових теоретичних досліджень, які б дозволили змодельовати процес його роботи та обґрунтувати раціональні параметри.

Мета дослідження – обґрунтувати конструкцію дисково-пластинчатого льонобрального апарата та його параметри.

Результати дослідження. Для брання льону-довгунця та льону олійного пропонується конструкція дисково-пластинчатого льонобрального апарата (рис. 1), який може бути встановлений на льонобральці чи льонокомбайні або ж на жатці зернозбирального комбайна замість різального механізму. Льонобральний апарат містить приводний вал, на якому розташовані однакові диски циліндричної форми із прогумованими поверхнями. Суміжні диски між собою утворюють бральну секцію, яка містить три осі. На кожній осі бральної секції розташовані по дві притискні пластини із прогумованими робочими поверхнями та вигнутими краями. До кожної притискної пластини приєднано циліндричний стакан, причому забезпечено можливість входження циліндричного стакана однієї пластини в циліндричний стакан другої пластини. В середині циліндричних стаканів розташована пружина. Крім того, бральна секція містить дві направляючі доріжки.

Під час руху льонозбирального агрегата, що обладнаний дисково-пластинчатим льонобральним апаратом, диски приводяться в обертальний рух. Під час обертання дисків на ділянці, що визначається кутом $\gamma_{н.д.}$, де вигнуті краї притискних пластин контактують із направляючими доріжками, пластини знаходяться на мінімальній відстані одна від одної на осі, їх вигнуті краї дотикаються. При цьому циліндричні стакани притискних пластин, які розташовані на одній осі, входять один в другий, що зумовлює стискання пружини. У такому положенні пластини, які розташовані на одній осі, входять у стеблостій льону, розділяють

його на два потоки в межах ширини захвату однієї бральної секції, та внаслідок руху льонозбирального агрегата чи зернозбирального комбайна два потоки рослин льону спрямовуються у простір між дисками бральної секції та притискними пластинами. Вісь обмежує переміщення рослин льону далі до втулок. При виході вигнутих країв притискних пластин за межі ділянки, що визначена кутом $\gamma_{н.д.}$, внаслідок дії пружини відбувається притискання пластин до дисків, чим забезпечується затискання рослин льону між дисками та пластинами. При подальшому обертанні дисків відбувається витягування із ґрунту рослин льону, затиснутих між дисками і притискними пластинами, та подальше їх обертання у бральній секції.

Далі, при входженні на ділянку, що визначена кутом $\gamma_{н.д.}$, де вигнуті краї пластин контактують із направляючими доріжками, відбувається наближення однієї пластини до другої, що зумовлює стиснення пружини. У цей час вибрані із ґрунту рослини льону, які оберталися в бральній секції, звільняються та спрямовуються із бральної секції на транспортувальний пристрій льонозбирального агрегата чи зернозбирального комбайна. Далі процес брання рослин льону повторюється. Оскільки кожна бральна секція містить три осі із пластинами, відповідно, у кожній бральній секції описаний вище процес брання рослин льону відбувається тричі за один оберт дисків.

Нехай, льонозбиральний агрегат рухається полем зі сталою швидкістю V (рис. 2), а диски льонобрального апарата обертаються зі сталою кутовою швидкістю ω . Також приймаємо, що секція льонобрального апарата одночасно витягує із ґрунту n рослин льону з одного рядка. Тоді, шлях s , який пройде льонозбиральний агрегат вздовж рядка:

$$s = ns_{cm} = Vt_s, \quad (1)$$

де s – шлях льонозбирального агрегата вздовж рядка, м; n – кількість рослин льону у рядку, що одночасно витягуються з ґрунту, шт.; s_{cm} – відстань між рослинами льону у рядку, м; V – швидкість льонозбирального агрегата вздовж рядка, м/с; t_s – час, за який льонозбиральний агрегат переміститься вздовж рядка на відстань s , с.

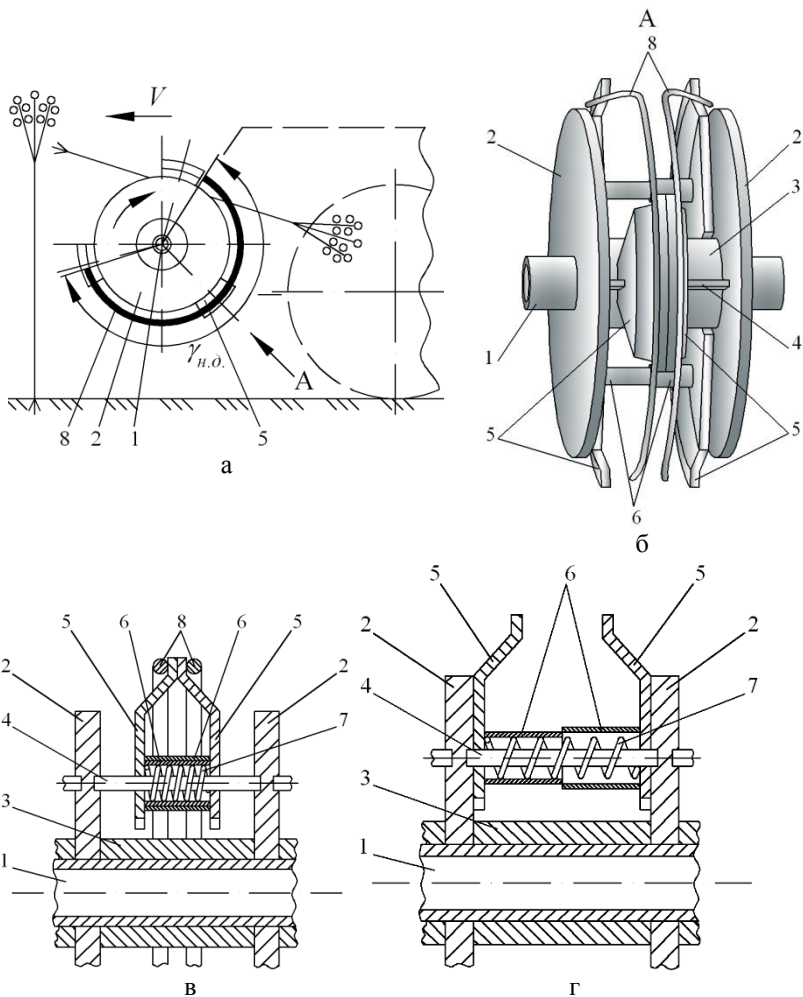


Рис. 1 – Дисково-пластинчатий льнобральний апарат:
 а – схематичне зображення принципу роботи апарата; б – бральна секція апарата; в – фрагмент конструкції бральної секції в момент, коли вигнуті краї пластин дотикаються; г – фрагмент конструкції бральної секції в момент, коли притисні пластини притиснуті до дисків (1 – приводний вал; 2 – диск; 3 – втулка; 4 – вісь; 5 – притисна пластина; 6 – циліндричний стакан; 7 – пружина; 8 – направляюча доріжка)

Кут, на який повернуться диски за час t_s :

$$\varphi_s = \omega t_s, \quad (2)$$

де φ_s – кут обертання дисків за час t_s , рад.; ω – кутова швидкість обертання дисків, рад./с.

Оскільки кількість пар притискних пластин, які містяться в одній бральній секції, – три, відповідно, кут їх встановлення на дисках $2\pi/3$ рад. Таким чином, для забезпечення одночасного брання n рослин льону з одного рядка має виконуватися рівність $\varphi_s = 2\pi/3$ рад. Тоді, з урахуванням формули (1) із формули (2) визначимо, якою має бути кутова швидкість обертання дисків, щоб забезпечити одночасне брання n рослин льону з одного рядка:

$$\omega = \frac{2\pi V}{3ns_{cm}}. \quad (3)$$

Нехай, притискання пластин до дисків відбувається у момент, коли вісь симетрії пластини співпадає з віссю x і коли вона знаходиться зі сторони стеблостою льону (рис. 2). Позначимо кут, що визначає розміри притискної пластини, через $\gamma_{пл}$. Обґрунтуємо розмір робочої ділянки пластин, яка визначається кутом φ_p , на якій пластини притискаються до дисків, затискаючи стебла льону.

Нехай, рослини льону затискаються між пластинами і дисками лише у вертикальному положенні льону. Розмір робочої ділянки має бути $\varphi_p > \pi/2$, щоб забезпечити сприятливі умови для брання льону. Для того, щоб вибрані рослини льону без затримки виходили із бральної секції, необхідно, щоб кут їх нахилу до горизонту був більшим за кут $\varphi_{мер}$. (де $\varphi_{мер}$ – кут тертя стебел льону по поверхні матеріалу, з якого виготовлені конструктивні елементи бральної секції, рад.). Таким чином, розмір робочої ділянки притискної пластин має задовольняти умову:

$$\frac{\pi}{2} + \varphi_{мер} \leq \varphi_p < 2\pi. \quad (4)$$

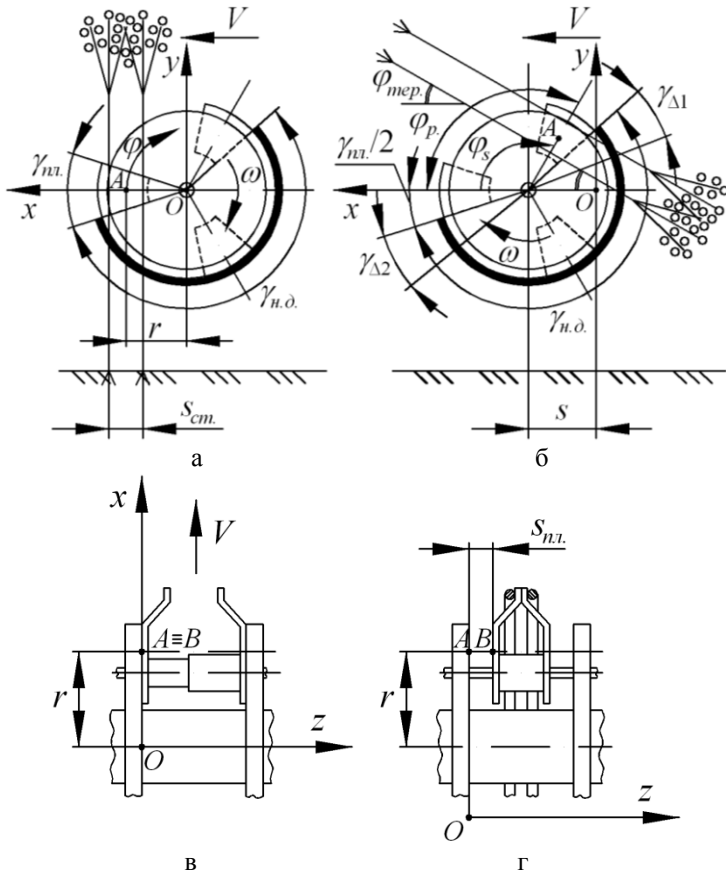


Рис. 2 – Розрахункові схеми дисково-пластинчатого льонобрального апарата ($n = 2$ шт.): а, в – у момент, коли пластина притискається до диска; б, г – у момент, коли пластина на максимальній відстані $s_{нл.}$ від диска

Визначимо значення кута $\gamma_{н.д.}$, що визначає ділянку, на якій направляючі доріжки охоплюють бральну секцію:

$$\gamma_{н.д.} = \frac{3\pi}{2} - \gamma_{нл.} - \varphi_{тер.} \quad \text{або} \quad \gamma_{н.д.} = 2\pi - \gamma_{нл.} - \varphi_p. \quad (5)$$

У межах ділянки, на якій направляючі доріжки охоплюють бральну секцію, є дві перехідні ділянки, що визначаються кутами $\gamma_{\Delta 1}$ та $\gamma_{\Delta 2}$. У межах перехідної ділянки, що визначається кутом $\gamma_{\Delta 1}$, притискні пластини, розташовані на одній осі, рухаються від

дисків, наближаючись одна до одної. А в межах перехідної ділянки, що визначається кутом $\gamma_{\Delta 2}$, притискні пластини рухаються до дисків, віддаляючись одна від одної. Перехідні ділянки необхідні для того, щоб забезпечити плавний перехід притискних пластин з одного положення у друге.

Складемо рівняння, які описують траєкторії руху характерних точок A та B (рис. 2), відповідно, диска та притискної пластини під час роботи льонобрального апарата. Точки A та B лежать на одній горизонталі та під час притискання пластини до диска ці точки співпадають (рис. 2, в). Розглянемо випадок холостого ходу дисків, тобто коли льонозбиральний агрегат рухається, але у простір між дисками та притискними пластинами не надходять рослини льону. Рівняння складемо у нерухомій системі координат xuz (рис. 2). Вісь x спрямуємо у напрямку руху льонозбирального агрегата, вісь y – вертикально вгору, а вісь z – у напрямку від диска до пластини. Початок координат (точка O) системи xuz розташовується на осі обертання дисків так, як показано на рис. 2, а, у момент, коли n прямостоячих рослин льону затискається між диском та пластиною. Траєкторії точок A та B будемо визначати за один оберт диска.

Рівняння руху точки A диска в системі координат xuz :

$$\left. \begin{aligned} x_A &= Vt + r \cos(\omega t); \\ y_A &= r \sin(\omega t); \\ z_A &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де r – відстань від осі обертання диска до точки A на диску, м.

Оскільки, $\omega t = \varphi$ (де φ – кут обертання диска, що відраховується так, як показано на рис. 2, а, рад.), а траєкторію точки A визначаємо за один оберт диска, тоді $\varphi = 2\pi$. Враховуючи зазначене, час одного оберту диска становитиме $t_{об.} = 2\pi/\omega$. Таким чином, час у рівняннях системи (6) змінюється в межах $0 \leq t \leq 2\pi/\omega$.

Під час складання рівнянь, які описують рух точки B притискної пластини, враховуємо, що положення пластини на осі льонобрального апарата залежить від того, на якій ділянці вона перебуває (рис. 2):

1. Рівняння, що описують рух точки B притискної пластини на ділянці, що визначається кутом φ_p . (пластина притиснута до диска):

$$\left. \begin{aligned} x_B &= Vt_1 + r \cos(\omega t_1); \\ y_B &= r \sin(\omega t_1); \\ z_B &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де t_1 – час обертання диска в межах ділянки, що визначається кутом φ_p , с.

Оскільки час руху пластини на цій ділянці $t_1 = \varphi_p/\omega$, тоді у рівняннях системи (7) час змінюється в межах $0 \leq t_1 \leq \varphi_p/\omega$.

2. Рівняння, що описують рух точки B притискної пластини на ділянці, що визначається кутом $\gamma_{\Delta 1}$ (пластина рухається від диска):

$$\left. \begin{aligned} x_B &= V(t_1 + t_2) + r \cos(\omega(t_1 + t_2)); \\ y_B &= r \sin(\omega(t_1 + t_2)); \\ z_B &= \frac{s_{nl} \cdot t_2}{t_{nl.1}}; \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

де t_2 – час обертання диска в межах ділянки, що визначається кутом $\gamma_{\Delta 1}$, с;

s_{nl} – максимальний можливий хід пластини вздовж осі, м;

$t_{nl.1}$ – час, за який пластина переміститься на відстань s_{nl} при обертанні дисків на кут $\gamma_{\Delta 1}$, с.

Нехай, переміщення притискної пластини вздовж осі льонобрального апарата (осі z) під час обертання дисків на кут $\gamma_{\Delta 1}$ відбувається рівномірно, що забезпечено конструктивно (вигином направляючих доріжок), тоді час руху притискної пластини на цій ділянці $t_2 = t_{nl.1} = \gamma_{\Delta 1}/\omega$. Таким чином, у рівняннях системи (8) час t_2 змінюється в межах $0 \leq t_2 \leq \gamma_{\Delta 1}/\omega$, а $t_1 = \varphi_p/\omega$.

3. Рівняння, що описують рух точки B притискної пластини на ділянці, що визначається кутом $(\gamma_{n.d.} - \gamma_{\Delta 1})$ (пластина знаходиться на відстані s_{nl} від диска):

$$\left. \begin{aligned} x_B &= V(t_1 + t_2 + t_3) + r \cos(\omega(t_1 + t_2 + t_3)); \\ y_B &= r \sin(\omega(t_1 + t_2 + t_3)); \\ z_B &= s_{nl}; \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де t_3 – час обертання диска в межах ділянки, що визначається кутом $(\gamma_{n.d.} - \gamma_{\Delta 1})$, с.

Оскільки час руху притискної пластини льонобрального апарата на цій ділянці $t_3 = (\gamma_{n.d.} - \gamma_{\Delta 1})/\omega$, тоді у рівняннях системи (9)

час t_3 змінюється в межах $0 \leq t_3 \leq (\gamma_{н.д.} - \gamma_{\Delta 1})/\omega$, а $t_1 = \varphi_p/\omega$ та $t_2 = \gamma_{\Delta 1}/\omega$.

4. Рух точки B притискної пластини на ділянці, що визначається кутом $\gamma_{нл.}$ (за умови, що $\gamma_{нл.} > \gamma_{\Delta 2}$). Ця ділянка, у свою чергу, містить дві ділянки:

4.1. Рівняння, що описують рух точки B притискної пластини на ділянці, що визначається кутом $(\gamma_{нл.} - \gamma_{\Delta 2})$ (пластина знаходиться на відстані $s_{нл.}$ від диска):

$$\left. \begin{aligned} x_B &= V(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) + r \cos(\omega(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)); \\ y_B &= r \sin(\omega(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)); \\ z_B &= s_{нл.}; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

де t_4 – час обертання диска в межах ділянки, що визначається кутом $(\gamma_{нл.} - \gamma_{\Delta 2})$, с.

Оскільки час руху притискної пластини льонобрального апарата на цій ділянці $t_4 = (\gamma_{нл.} - \gamma_{\Delta 2})/\omega$, тоді у рівняннях системи (10) час t_4 змінюється в межах $0 \leq t_4 \leq (\gamma_{нл.} - \gamma_{\Delta 2})/\omega$, а $t_1 = \varphi_p/\omega$, $t_2 = \gamma_{\Delta 1}/\omega$ та $t_3 = (\gamma_{н.д.} - \gamma_{\Delta 1})/\omega$.

4.2. Рівняння, що описують рух точки B притискної пластини на ділянці, що визначається кутом $\gamma_{\Delta 2}$ (пластина рухається до диска):

$$\left. \begin{aligned} x_B &= V(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) + r \cos(\omega(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)); \\ y_B &= r \sin(\omega(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)); \\ z_B &= s_{нл.} \left(1 - \frac{t_5}{t_{нл.2}} \right); \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

де t_5 – час обертання диска в межах ділянки, що визначається кутом $\gamma_{\Delta 2}$, с; $t_{нл.2}$ – час, за який пластина переміститься на відстань $s_{нл.}$ при обертанні дисків на кут $\gamma_{\Delta 2}$, с.

Нехай, переміщення притискної пластини вздовж осі (осі z) під час обертання дисків на кут $\gamma_{\Delta 2}$ відбувається рівномірно, що забезпечено конструктивно (вигином направляючих доріжок), тоді час $t_5 = t_{нл.2} = \gamma_{\Delta 2}/\omega$. Таким чином, у рівняннях системи (11) час t_5 змінюється в межах $0 \leq t_5 \leq \gamma_{\Delta 2}/\omega$, а $t_1 = \varphi_p/\omega$, $t_2 = \gamma_{\Delta 1}/\omega$, $t_3 = (\gamma_{н.д.} - \gamma_{\Delta 1})/\omega$ та $t_4 = (\gamma_{нл.} - \gamma_{\Delta 2})/\omega$.

За рівняннями систем (6) – (11) побудуємо траєкторії руху характерних точок A та B льонобрального апарата (рис. 3).

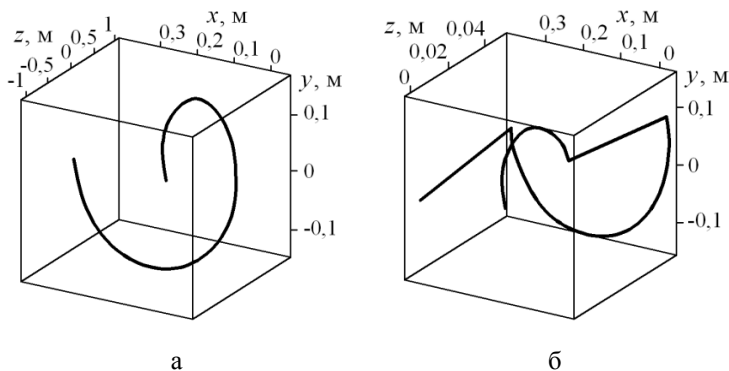


Рис. 3 – Траєкторії руху характерних точок *A* (а) та *B* (б) дисково-пластинчатого льонобрального апарата при: $V = 1,388$ м/с; $n = 2$ шт.; $s_{cm} = 0,04$ м; $\omega = 36,3$ рад./с; $\varphi_{мер.} = \pi/4$ рад.; $\varphi_p. = 3\pi/4$ рад.; $s_{cn.} = 0,05$ м; $\gamma_{н.д.} = 7\pi/6$ рад.; $\gamma_{н.л.} = \pi/12$ рад.; $\gamma_{\Delta 1} = \gamma_{\Delta 2} = \pi/18$ рад.; $r = 0,15$ м

Висновки. Обґрунтована конструкція дисково-пластинчатого льонобрального апарата забезпечує високу чистоту брання льону. До переваг конструкції можна віднести її простий привод та компактність. У результаті теоретичних досліджень отримані залежності, які дозволяють обґрунтувати раціональні конструктивно-технологічні параметри запропонованого льонобрального апарата. Рівняння, які описують траєкторії руху характерних точок запропонованого льонобрального апарата під час руху льонозбирального агрегата, дозволяють змоделювати та проаналізувати процес брання льону.

Література

1. Хайлис Г.А. Льноуборочные машины / [Г.А. Хайлис, Н.Н. Быков, В.Н. Бухарин и др.] – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
2. Хайлис Г.А. Теория льнотеребильных аппаратов с поперечными ручьями / Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. – К.: УААН, 1999. – 90 с.
3. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание / М.Н. Летошнев. – М. – Л.: Сельхозгиз, 1955. – 764 с.

4. Ковалев М.М. Повышение эффективности льноуборочного комбайна путем разработки прямооточного теребильного аппарата: дисс... канд. техн. наук. – Торжок, 1988. – 222 с.

5. Налобіна О.О. Механіко-технологічні основи процесів взаємодії робочих органів льнозбирального комбайна з рослинним матеріалом: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11 / Налобіна Олена Олександрівна; Луцький держ. техн. ун-т. – Луцьк, 2008. – 476 с.

6. Шейченко В.О. Обґрунтування параметрів та режиму роботи льнобрального апарата з поперечними рівчаками: дис... канд. техн. наук: 05.05.11 / Шейченко Віктор Олександрович; Український НДІ випробування та прогнозування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва ім. Леоніда Погорілого (УКРНДПВТ ім. Л.Погорілого). – Дослідницьке, 2006. – 173 с.

7. Юхимчук С.Ф. Обґрунтування параметрів і дослідження роботи льнобральних апаратів з поперечними рівчаками: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / Юхимчук Сергій Федорович; Луцький держ. техн. ун-т. – Луцьк, 1998. – 199 с.