

**М. М. Ковалев<sup>1</sup>, Г. А. Перов<sup>1</sup>, А. И. Тарима<sup>2</sup>, С. В. Просолов<sup>1</sup>, С. П. Колешко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

г. Тверь, Российская Федерация

E-mail: vniiml@mail.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: belagromegh@tut.by

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛЬНОТЕРЕБИЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОПЕРЕЧНЫМИ РУЧЬЯМИ НА РАЗЛИЧНОМ ЛЬНЕ**

*Аннотация.* В статье на примере уборки льна-долгунца показана важность работы делителей уборочных машин на их производительную и качественную работу. Получены зависимости для расчета нагрузки на стеблеподводы и воздействия делителя на неровность почвы. Экспериментально подтверждено ухудшение показателей качества работы агрегата при отклонении делителей от рабочего положения. Установлены условия для повышения эффективности их работы.

*Ключевые слова:* лен, делители уборочных машин, стеблеподводы, поворот, неровности поверхности поля, зависимости, показатели качества работы.

**M. M. Kovalev<sup>1</sup>, G. A. Perov<sup>1</sup>, A. I. Taryma<sup>2</sup>, S. V. Prosolov<sup>1</sup>, S. P. Koleshko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>FSBSI "Federal Scientific Center for Bast Crops"

Tver, Russia

E-mail: vniiml@mail.ru

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: belagromegh@tut.by

## **INCREASE WORK EFFICIENCY FLAX DRAWING MACHINES WITH TRANSVERSE STREAMS ON VARIOUS LINEN**

*Abstract.* The importance of the work of the dividers of harvesting machines for their productive and high-quality work is shown on the example of harvesting flax-long-lived flax. The dependences for calculating the load on the stem-bearing structures and the effect of the divider on the soil unevenness are obtained. The deterioration of the quality indicators of the unit's operation when the dividers deviate from the working position has been experimentally confirmed. Conditions for increasing the efficiency of their work are established.

*Keywords:* flax, dividers of harvesting machines, stalk drives, rotation, unevenness of the field surface, dependencies, performance indicators.

### **Введение**

Процессы уборки сельскохозяйственных культур характеризуются активным взаимодействием рабочих органов уборочных машин с растениями, что может негативно сказываться на сборах и качестве получаемой продукции [1–3].

Многие машины для уборки культур сплошного и узкорядного посева, а также естественных трав оснащаются делителями. Они предназначены для отделения массы растений, захватываемых машиной, от остающихся в поле или для деления полосы стеблей на узкие полосы.

В машинах для уборки льна имеются и крайние, и средние делители, со стеблеподводами в виде многогранных клиньев с вершинами, направленными в сторону движения машины. И делители, и пальцы разделяют массу растений в поле для подведения их в зону эффективного воздействия последующих рабочих органов, извлекающих их из почвы. Наиболее рельефно закономерности воздействия деющих рабочих органов можно проследить на делителях льнотеребиль-

ных аппаратов. Хотя закономерности эти для многих уборочных машин и общие, однако специфика уборки льна обуславливает значительно более важное влияние рабочего процесса делителей на характер и результаты работы других исполнительных механизмов льнотеребилок и льнокомбайнов, чем в жатвенных аппаратах, основанных не на тереблении, а на срезе растений [1–3].

От правильного выбора параметров делителей зависят не только показатели качества работы, но и высокопроизводительная работа льноуборочных машин, что очень важно в условиях жесткой конкуренции на внутреннем и внешнем рынках. По данным машинно-испытательных станций ежегодно в льноводной зоне до 30 % площадей посевов полегают, а их уборка представляет значительную трудоемкость [4]. В связи с этим повышение эффективности работы делителей в трудных условиях уборки для сохранения качества выращенного урожая и увеличения сборов льнопродукции является приоритетной задачей [5–10].

Поэтому исследованию процесса подвода растений в устья теребильных ручьев делителями посвящены многие работы [1–3, 5–10]. Анализ работы делителей, снабженных прямолинейными стеблеподводами растений, представлен в исследованиях [1–3, 5–7]. Динамические особенности взаимодействия стеблеподводов со стеблями рассмотрены в работе [8]. В ней показано, что для повышения эффективности работы делителей форма профиля стеблеподводов должна иметь переменную кривизну. Исследования двухъярусных шестигранных делителей с нижним расположением опорного бруса и компенсатора в трудных условиях уборки культуры представлены в работе [9].

В работах [9, 10] показаны преимущества одноярусных трехгранных делителей с верхним расположением компенсаторов, нашедших основное применение в льнотеребильных аппаратах, в сравнении с двухъярусными шестигранными делителями с нижним расположением опорного бруса и компенсатора.

Анализ выполненных исследований показал, что делители льноуборочных машин являются важными рабочими органами, во многом определяющими рабочие качества всей машины. Поэтому конструкции делителей многообразны и постоянно совершенствуются [9, 10].

Выполняемые ими технологические процессы теоретически и экспериментально исследованы достаточно полно. Однако ряд вопросов работы этих рабочих органов изучен недостаточно или вообще не рассмотрен. Так, не изучен процесс воздействия одноярусных трехгранных делителей на неровности поверхности поля при уборке полеглого и короткостебельного льна, вследствие наличия на ней почвенных комков, камней и кочек, образованных корневой системой трав, подсеваемых под основную культуру.

Цель работы – провести теоретический анализ процесса воздействия одноярусных трехгранных делителей на неровности поверхности поля и экспериментально определить влияния положения делителей на показатели качества работы теребильного аппарата.

### Материалы и методы исследования

При выполнении теоретических исследований применялся метод системного анализа, положения теоретической и земледельческой механики, использование компьютерных программ.

Для проведения лабораторно-полевых опытов были изготовлены одноярусные трехгранные делители с верхним расположением компенсатора, которые были установлены на теребильный аппарат льнотеребилки ТЛ-1,9 (рис. 1). Принципиальная схема такого делителя представлена на рис. 2, а, в котором верхний центральный стеблеподвод  $AC$  выполнен телескопическим, снабжен пружиной сжатия  $1$  и винтовым механизмом  $2$ . Такое устройство обеспечивает поворот делителя кверху во время наезда его носком  $CD$  на неровность (препятствие) в поле, и его ускоренное возвращение в рабочее положение [9].

Задачей исследований являлось экспериментальное определение показателей качества работы льнотеребилки ТЛ-1,9 в зависимости от скорости агрегата  $v_m$  и угла  $\gamma$  установки делителей.

Углы  $\gamma$  поворота кверху делителей устанавливали равными  $0^\circ$ ;  $3^\circ$ ;  $6^\circ$ ;  $9^\circ$ ;  $12^\circ$ . Скорости  $v_m$  агрегата в опытах были 1,5 и 2,5 м/с, что соответствовало основным режимам работы на таком исходном материале [4].



Рис. 1. Общий вид одноярусных трехгранных делителей с верхним расположением компенсаторов, установленных на теребельном аппарате льнотеребилки ТЛ-1,9

Выходными параметрами были: чистота теребления  $a_r$ , потери семян  $b_c$ , растянутость ленты  $c_d$  и повреждения стеблей  $d_c$  [11, 12].

При проведении исследований в качестве исследуемого материала использовали лен-долгунец сорта Тверской в фазе желтой спелости. Густота растений перед уборкой составила 1360 шт/м<sup>2</sup>, влажность стеблей была 50 %, а семенных коробочек – 46 %. По состоянию стеблестоя лен был полеглим (2,8–2,9 балла). При уборке такого льна делители располагают на минимальном расстоянии от поверхности почвы. Общая длина стеблей составила 0,8 м.

Математическую обработку результатов исследований проводили методами математической статистики, с использованием персональных компьютеров и универсального статистического пакета STADIA [13, 14].

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим процесс поворота делителя в продольно-вертикальной плоскости при его наезде в точке  $E$  на неровность почвы (почвенный комок, камень и др.) высотой  $\lambda$  (рис. 2,  $a$ ).

При этом делитель, подвешенный шарнирно на боковых  $OC$  и верхнем центральном  $AC$  стеблеподводах, установленный на высоте  $h_0$  от поверхности поля, поворачивается кверху.

Анализ проведем при допущениях:

- неровность на поверхности почвы принимаем за твердое тело;
- вес стеблеподводов много меньше силы сжатия пружины и его можно не учитывать.

При повороте делителя со стороны неровности на поверхности поля на носок  $CD$  будут действовать силы: нормальная  $N_{\Pi}$ , трения скольжения  $F_{\Pi}$  и их равнодействующая сила  $R_{\Pi}$ , отклоненная от нормали на угол  $\varphi_{\Pi}$ . Для проведения анализа приложим в шарнир  $C$  две равные, противоположно направленные силы  $R'_{\Pi}$  и  $-R'_{\Pi}$  параллельные и равные силе  $R_{\Pi}$ , которую требуется определить. Сила  $R'_{\Pi}$  воспринимается стеблеподводами  $OC$  и  $AC$ .

Из рис. 2 следует, что угол

$$\beta = \gamma - \gamma_1 + \alpha_1 - \alpha_2, \quad (1)$$

где  $\beta$  – угол, под которым действует сила  $R_{1C}$ , град;  $\gamma$  и  $\gamma_1$  – углы поворота стеблеподводов  $OC_0$  и  $AC_0$ , град;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы до начала поворота стеблеподводов  $OC_0$  и  $AC_0$ , град.

Обозначим:  $OC_0 = OC'$  через  $l_{OC}$ ; высота  $C_0C'$  приближенно равна хорде  $\Delta c$ ;  $AC_0$  через  $b_1$ ;  $AC'$  через  $b'_1$ ;  $OA$  через  $b$ ;  $\Delta c \approx C_0C' \approx l_{OC}\gamma$ .

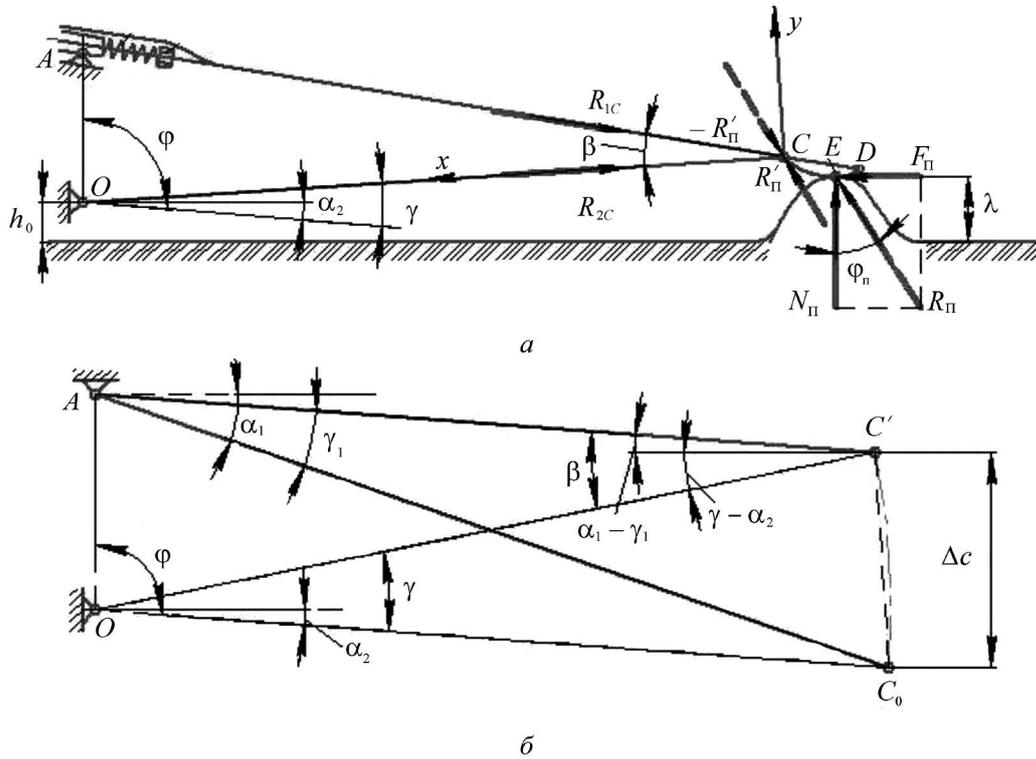


Рис. 2. Схемы: *a* – к расчету поворота делителя при наезде носком *CD* на неровность; *б* – определения углов  $\varphi$ ,  $\gamma_1$  и высоты  $\Delta c$

Тогда угол

$$\gamma \approx C_0C' / OC \approx \Delta c / l_{OC}, \text{ рад.} \quad (2)$$

Угол  $\gamma_1$  определяется из треугольника  $AC_0C'$ :

$$\gamma_1 = \arccos \frac{b_1^2 + (b'_1)^2 - \Delta_0^2}{2b_1b'_1}. \quad (3)$$

При повороте стеблеподвода  $AC_0$  в положение  $AC'$  на угол  $\gamma$  длина стеблеподвода  $AC_0 = b_1$  уменьшится до величины  $AC' = b'_1$ , которую обозначим  $\Delta l$ :

$$\Delta l = b_1 - b'_1, \quad (4)$$

где  $b_1 = l_{OC} \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \varphi}$ ;  $b'_1 = l_{OC} \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos(\varphi - \gamma)}$ , а  $m = \frac{OA}{OC_0} = \frac{b}{l_{OC}}$ .

Подставив значения углов  $\gamma$  по (2),  $\gamma_1$  по (3) в (1) получим значение угла  $\beta$ , под которым действует сила  $R_{1C}$ :

$$\beta \approx \gamma + \alpha_1 - \alpha_2 - \arccos \frac{1 + m^2 - m \cos(\varphi - \gamma) - 0,5\gamma^2}{\sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \varphi} \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos(\varphi - \gamma)}}.$$

Зная углы, под которыми действуют силы, спроектируем силы на осях  $x$  и  $y$  и составим систему уравнений

$$\sum X = R'_{II} \sin(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2) - R_{2C} - R_{1C} \cos \beta = 0;$$

$$\sum Y = R'_{II} \cos(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2) - R_{1C} \sin \beta = 0,$$

решением которой получим формулы для расчета сил, действующих на стеблеподводы:

$$R_{1C} = R_{II}' \frac{\cos(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2)}{\sin \beta};$$

$$R_{1C} = R_{II}' [\sin(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2) - \cos(\varphi_{II} - \gamma + \alpha_2) \operatorname{ctg} \beta]. \quad (5)$$

Сила  $P_{II}$  сжатия пружины  $l$  уравновешивается силой  $R_{1C}$ . Эта же сила  $P_{II}$  уравновешивает добавочную силу  $C_{II} \Delta_{II}$ , где  $C_{II}$  – жесткость пружины, а  $\Delta_{II}$  – ее полная деформация. Тогда

$$\Delta_{II} = \Delta_0 + \Delta l = \Delta_0 + b_1 - b_1',$$

где  $\Delta_0$  – предварительное сжатие пружины при установке делителя, а  $\Delta l$ ,  $b_1$ ,  $b_1'$  определяются по (4):

С учетом изложенного

$$P_{II} = C_{II} \left\{ \Delta_0 + l_{OC} \left[ \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \varphi} - \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos(\varphi - \gamma)} \right] \right\}. \quad (6)$$

Так как  $P_{II} = R_{1C}$ , то, приравняв  $P_{II}$  по (6) и  $R_{1C}$  по (5), после упрощения получим:

$$R_{II} = R_{II}' = \frac{C_{II} \sin \gamma}{\cos(\varphi_{II} - \gamma - \alpha_2)} \left\{ \Delta_0 + l_{OC} \left[ \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \varphi} - \sqrt{1 + m^2 - 2m \cos(\varphi - \gamma)} \right] \right\}. \quad (7)$$

По полученной формуле (7) построены зависимости силы воздействия  $R_{II}$  носка делителя на неровность поверхности почвы от угла поворота  $\gamma$  боковых стеблеподводов  $OC$  делителя. Расчеты проводили при следующих параметрах:  $C_{II} = 6,3; 7,45; 8,3$  Н/мм;  $\Delta_0 = 15$  мм;  $b = 200$  мм;  $l_{OC} = 800$  мм;  $\varphi_{II} = 0,3; 0,6; 0,9$ ;  $\alpha_2 = 5^\circ$ ;  $\gamma = 0^\circ; 5^\circ; 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ$ ;  $\varphi = 100^\circ$ ;  $m = 0,216$ .

Результаты вычислений представлены на рис. 3, 4.

Из формулы (7) и рис. 3 следует, что сила воздействия  $R_{II}$  носка делителя на неровность почвы возрастает с увеличением жесткости  $C_{II}$  пружины, углов трения  $\varphi_{II}$  и поворота  $\gamma$  боковых стеблеподводов  $OC$  делителя. Причем интенсивный рост силы воздействия  $R_{II}$  имеет место при больших значениях угла  $\gamma$ , а чем больше угол поворота  $\gamma$ , тем сильнее стеблеподводы делителя будут оказывать неправильное воздействие на подводимые к теребильным ручьям стебли, что может привести к потерям льнопродукции.

Для определения влияния поворота делителей кверху от рабочего положения и скорости агрегата на показатели качества работы теребильного аппарата были проведены лабораторно-полевые опыты, результаты которых показаны графически на рис. 5 [9].

Эксперименты выяснили, что показатели качества работы теребильного аппарата на полеглом льне при увеличении угла  $\gamma$  до  $12^\circ$  ухудшаются: чистота теребления  $a_T$  снижается, а потери семян  $b_C$ , растянутость ленты  $c_L$  и повреждения стеблей  $d_L$  возрастают по параболическим кривым.

При снижении чистоты теребления с увеличением угла  $\gamma$  делители хуже подводят растения к устьям теребильных ручьев, в результате чего часть стеблей полеглого льна не захватывается теребильными ремнями.

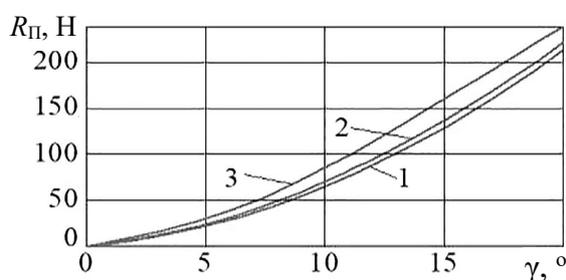


Рис. 3. Зависимость силы воздействия  $R_{II}$  носка делителя на неровность поверхности почвы от угла поворота  $\gamma$  боковых стеблеподводов  $OC$  при: 1 –  $\varphi_{II} = 0,3$ ; 2 –  $\varphi_{II} = 0,6$ ; 3 –  $\varphi_{II} = 0,9$ ;  $C_{II} = 7,45$  Н/мм;  $\Delta_0 = 15$  мм

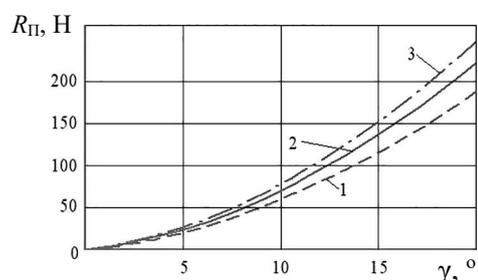


Рис. 4. Зависимость силы воздействия  $R_{II}$  носка делителя на неровность поверхности почвы от угла поворота  $\gamma$  боковых стеблеподводов  $OC$  при: 1 –  $C_{II} = 6,3$  Н/мм; 2 –  $C_{II} = 7,45$  Н/мм; 3 –  $C_{II} = 8,3$  Н/мм;  $\varphi_{II} = 0,6$ ;  $\Delta_0 = 15$  мм

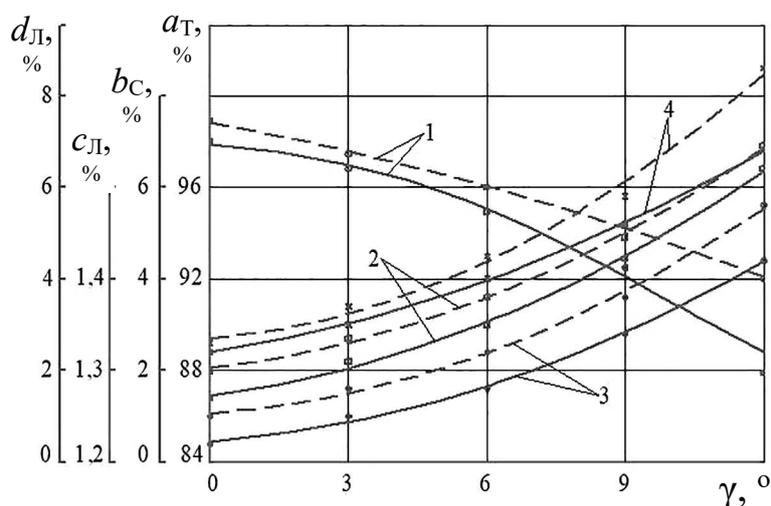


Рис. 5. Зависимость чистоты тербления  $a_T$  (1), потерь семян  $b_c$  (2), растянутости ленты  $c_{л}$  (3) и повреждений стеблей  $d_{л}$  (4) тербильным аппаратом от угла  $\gamma$  поворота делителей кверху во время наезда на неровность почвы: —  $v_m = 1,5$  м/с; - - -  $v_m = 2,5$  м/с

Увеличение потерь семян происходит за счет снижения чистоты тербления, а также потому, что корбочки части стеблей попадают в зажим между ремнями и ими разрушаются.

Возрастание растянутости ленты и повреждений растений с ростом угла  $\gamma$  объясняется тем, что отклоненные кверху делители сильнее наклоняют стебли в продольно-вертикальной плоскости в направлении движения агрегата.

Снижение показателей качества работы тербильного аппарата с увеличением скорости  $v_m$  агрегата с 1,5 до 2,5 м/с также происходит по параболическим кривым, вследствие возрастания интенсивности воздействия стеблеподводов на стебли, а также от большего сотрясения машины при перемещении по полю.

Полученные регрессионным анализом квадратичные параболы для определения показателей качества работы тербильного аппарата в зависимости от угла  $\gamma$  поворота делителя (см. рис. 5) адекватны экспериментальным данным [13, 14].

### Заключение

1. Во время поворота одноярусного трехгранного делителя стеблеподводы  $AC$  и  $OC$  работают на сжатие или растяжение, а силы реакции  $R_{1C}$  и  $R_{2C}$  в шарнире  $C$  действуют вдоль стеблеподводов и рассчитываются по формулам (5). Сила  $R_{\Pi}$ , с которой делитель воздействует на неровность почвы, описывается формулой (7). При эксплуатации агрегатов необходимо стремиться к тому, чтобы сила  $R_{\Pi}$  была по возможности меньшей, что позволит предотвратить заглобление носка делителя в неровность поверхности почвы и его поломку.

2. Получены закономерности в виде квадратичных парабол изменения показателей качества работы тербильного аппарата на уборке полегло льна от угла  $\gamma$  поворота делителя в вертикальной плоскости и скорости  $v_m$  агрегата. Наиболее значительное снижение показателей качества работы наблюдается при больших углах поворота делителя.

3. Условием повышения показателей качества работы тербильного аппарата является устранение угла  $\gamma$  поворота делителя при работе агрегата, что может быть достигнуто выращиванием более устойчивых к полеганию сортов льна-долгунца и обработкой почвы в соответствии с агротехническими требованиями. Обязательным условием является также проведение культуртехнических работ (сбор камней и вывоз их с поля).

### Список использованных источников

1. Летошнев, М. Н. Сельскохозяйственные машины: теория, расчет, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – М. ; Л. : Сельхозгиз, 1955. – 764 с.

2. Усевич, И. Г. Исследования работы теребильных аппаратов льноуборочных машин : дис. ... канд. техн. наук / И. Г. Усевич. – Великие Луки, 1972. – 127 с.
3. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Саун. – М. : Колос, 1980. – 671 с.
4. Колчина, Л. М. Опыт освоения прогрессивных технологий и технических средств для уборки и первичной переработки льна-долгунца : науч. аналит. обзор / Л. М. Колчина, М. М. Ковалев. – М. : Росинформагротех, 2008. – 152 с.
5. Шейченко, В. О. Обґрунтування параметрів та режиму роботи льнобрального апарату з поперечними рівчачками : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / В. О. Шейченко. – Дослідницьке, 2006. – 126 с.
6. Налобина О. О. Механіко-технологічні основи процесів взаємодії робочих органів льнозбирального комбайна з рослинним матеріалом : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11 / О. О. Налобина. – Луцьк, 2008. – 365 с.
7. Хайлис, Г. А. Теория льноуборочных машин / Г. А. Хайлис. – М. : Росинформагротех, 2011. – 322 с.
8. Родионов, Л. В. Динамические особенности взаимодействия делителя со стеблями / Л. В. Родионов, М. М. Ковалев // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – № 5. – С. 36–38.
9. Ковалев, М. М. Делители машин для уборки лубяных культур (конструкция, теория и расчет) / М. М. Ковалев. – М. : Росинформагротех, 2014. – 244 с.
10. Ковалев, М. М. Инновационные пути повышения эффективности работы делителей уборочных машин / М. М. Ковалев // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті : наук. журн. – Луцьк, 2015. – № 1 (3). – С. 86–92.
11. Стандарт организации. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки льна. Методы оценки функциональных показателей : СТО АИСТ 8.9-2004. – 45 с.
12. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для внесения удобрений, машины для послеуборочной обработки зерна, машины для уборки картофеля, овощных и бахчевых культур, плодов и ягод, льна, погрузочно-разгрузочные и транспортные средства. Показатели назначения и надежности : СТО АИСТ 1.13-2011. – М. : Росинформагротех, 2013. – 52 с.
13. Кулаичев, А. П. Методы и средства комплексного анализа данных / А. П. Кулаичев. – 4-е изд., пераб. и доп. – М. : Форум : Инфра-М, 2006. – 512 с.
14. Хайлис, Г. А. Исследование сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – М. : Колос, 1994. – 179 с.