

Ковалев М.М.
*Всероссийский научно-исследовательский институт
механизации льноводства, Российская Федерация*

ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДЕЛИТЕЛЕЙ УБОРОЧНЫХ МАШИН

Предложены инновационные пути повышения эффективности технологического процесса подвода растений делителями к другим рабочим органам уборочных машин. Они заключаются в уменьшении минимального угла трения стеблей о рабочую поверхность стеблеподводов, а также сокращении пути и времени контакта стеблей со стеблеподводами. Для реализации этих путей разработаны вибрационные делители и делители, у которых рабочие поверхности стеблеподводов выполнены в форме пилообразного профиля, в котором профиль зуба выполняется в виде ступенчатой фигуры. Проведен теоретический анализ процесса перемещения стеблеподвода с пилообразным профилем рабочей поверхности по стеблям.

Ключевые слова: лен, вибрodelители, стеблеподводы переменной кривизны, пилообразная форма, угол трения, амплитуда колебаний, смещение.

Постановка проблемы. В большинстве машин для уборки сельскохозяйственных культур сплошного или узкорядного посева применяются рабочие органы, называемые делителями, предназначенные для отделения массы растений, поступающих в машину, от остающихся в поле или для деления всей полосы стеблей, захватываемых машиной на узкие полосы. В зерноуборочных машинах это крайние делители, а средние называются пальцами. В косилках крайние делители называются башмаками, а средние – пальцами. В льноуборочных машинах делители называются средними или крайними. И делители, и пальцы разделяют массу стеблей для того, чтобы подвести их в зону эффективного воздействия рабочих органов, отделяющих растения от почвы. Закономерности воздействия деющих органов имеют много общего для всех упомянутых уборочных машин.

Наиболее рельефно общие закономерности работы деющих органов уборочных машин можно проследить на делителях льнотеребильных аппаратов. Специфика уборки льна обуславливает значительно более важное влияние рабочего процесса делителей на характер и результаты работы других рабочих органов льноуборочных машин, чем в жатвенных аппаратах, основанных на срезе растений [1-8].

От правильного выбора параметров делителей зависят не только показатели качества работы, но и высокопроизводительная работа льноуборочных машин, что приобретает особую важность в условиях жесткой конкуренции на внутреннем и внешнем рынках. Поэтому повышение эффективности работы делителей в разных условиях уборки для сохранения качества выращенного урожая и увеличение сборов льнопродукции является приоритетной задачей.

Анализ последних достижений и публикаций. Исследованию работы делителей с прямолинейными стеблеподводами посвящены работы [2, 3]. При этом основополагающие и глубокие исследования таких делителей изложены в работе [4].

В работе [5] рассмотрены динамические особенности взаимодействия стеблеподводов делителя со стеблями. Показано, что для повышения эффективности работы делителя форма профиля стеблеподводов должна быть переменной кривизны.

В работе [6] обоснованы формы профиля стеблеподводов делителя. Для качественного и надежного выполнения технологического процесса делителем необходимо уменьшать сопротивление перемещению стеблей по боковым стеблеподводам. Для этого их рациональная форма профиля должна выполняться из двух последовательно расположенных кривых: гиперболы и полинома четвертой степени.

Для верхнего центрального стеблеподвода необходимо уменьшать сопротивление поднимаемых и разделяемых стеблей на его нижнем участке, и увеличивать их сопротивление на верхнем участке, с целью поворота растений и зажатия их перпендикулярно теребильным ремням. С учетом этого оптимальный профиль верхнего центрального стеблеподвода делителя также должен выполняться из двух последовательно расположенных кривых: логарифмической на нижнем участке и кубического полинома на его верхнем участке.

Цель и постановка задач исследования. Целью исследования является изыскание путей интенсификации технологического процесса подвода растений льна к теребивальным аппаратам и технические средства для их реализации. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать инновационные технические решения для интенсификации процесса подвода растений льна к теребивальным аппаратам;
- провести анализ процесса подвода растений льна разработанными делителями.

Результаты исследования. Анализ публикаций позволяет наметить некоторые пути дальнейшего совершенствования делителей, реализация которых позволила бы повысить работоспособность этих важных рабочих органов, особенно на уборке полеглых посевов. Они заключаются в уменьшении минимального угла трения стеблей о рабочую поверхность стеблеподводов, поскольку он обуславливает крайне нежелательный наклон стеблей вперед по движению уборочной машины, а также сокращении пути и времени контакта стеблей со стеблеподводами.

Для этого, прежде всего, требуется изыскание средств придания рабочей поверхности стеблеподводов возможно меньшей шероховатости, обеспечивающей минимальный угол трения, вследствие того, что именно он обуславливает большой наклон растений вперед в направлении движения агрегата. В этом плане покрытие стеблеподводов, например, прочными и износостойкими полимерными материалами могло бы сыграть важную положительную роль. При этом следует иметь в виду, что эти покрытия должны быть не только прочными и стойкими против истирания, но и не обладать свойствами липкости по отношению к влажной почве и веществам, покрывающим стебли во время теревания, которые склонны образовывать сухую шероховатую корочку на рабочей поверхности стеблеподводов.

Так как наиболее эффективный подвод стеблей к теребивальному аппарату обеспечивается при условии предварительного нарушения механических связей в верхушечной части растений, которые устанавливаются в них в процессе вегетации, то в соответствии с теоремой Карно при наложении динамического импульса к стержневой системе в одном участке его длины возникает механическое возмущение в другой его части, чем обеспечивается разрушение связей между элементами системы [9]. Этот эффект может быть обеспечен путем выполнения технологического процесса подвода растений к теребивальному аппарату с применением вибраций. Для реализации такого процесса разработаны вибрodelители, конструктивная схема одного из них изображена на рисунке [6].

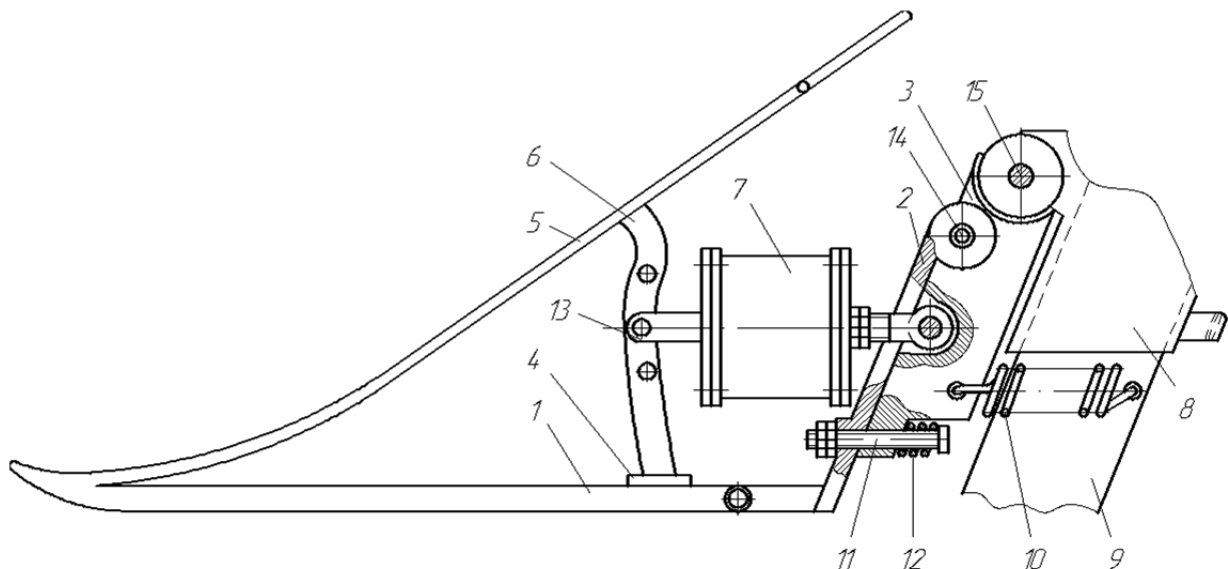


Рис. 1. Конструктивная схема вибрodelителя:

- 1 – боковой стеблеподвод; 2 – кронштейн; 3 – подпружиненный держатель; 4 – планка; 5 – верхний центральный стеблеподвод; 6 – стойка; 7 – вибратор; 8 – ползун; 9 – рама; 10, 12 – пружины; 11 – болт; 13 – шток; 14, 15 – шарниры

Он содержит боковые стеблеподводы 1, жестко соединенные с кронштейном 2, который устанавливается шарнирно на подпружиненный держатель 3. В средней части между боковыми

стеблеподводами 1 установлена жестко планка 4, между которой и верхним центральным стеблеподводом 5 закреплена стойка 6 с регулировочными отверстиями. Между стойкой 6 и держателем 3 установлен вибратор 7, который приводит в колебательное движение делитель. Держатель 3 делителя в верхней части шарнирно соединяется с ползуном 8, который в свою очередь крепится к раме 9 с возможностью перемещения по ней. Для удержания держателя 3 делителя в крайнем заднем положении имеется пружина 10. Для предохранения от поломок вибратора 7 установлено регулировочное приспособление в виде болта 11 с пружиной 12. Вибратор 7 снабжен выдвигаемым штоком 13. Делитель закреплен подвижно относительно шарнира 14, а держатель 3 имеет возможность поворота вокруг шарнира 15.

В работе при выдвигании штока 13 вибратора 7, работающего от гидросистемы агрегирующего средства, усилие передается на стойку 6, делитель поворачивается относительно шарнира 14, а носок делителя совершает движение, способствующее лучшему подъему льна и продвижению его по верхнему центральному 5 и боковым 1 стеблеподводам. При втягивании штока 13 вибратора 7 делитель возвращается в первоначальное положение. Колебания в продольно-вертикальной плоскости делителя происходят с небольшой амплитудой колебаний (2,8...3,2 мм). Аварийное отклонение виброделителя от горизонтали кверху осуществляется за счет шарнира 15, а возвращение в рабочее положение за счет силы тяжести делителя и пружины 10. Амплитуда колебаний конца делителя регулируется перемещением штока 13 по отверстиям в стойке 6, а горизонтальное положение оси делителя регулируется штоком вибратора 7.

Кронштейн 2 шарнирно закреплен через шарнир 14 на держателе 3 делителя и может перемещаться от действия вибратора 7 только в пределах зазора 2,9...3,2 мм между привалочными плоскостями держателя 3 и кронштейна 2, установленного болтом 11 для обеспечения колебания делителя. Пружина 12 выполняет роль амортизатора макроударов при встрече с препятствием.

При наезде на препятствие (камень, почвенную неровность) пружина 12 сжимается до конца, а болт 11, упираясь в держатель 3, поворачивает его в шарнире 15 до преодоления препятствия, при этом пружина 10 растягивается. После преодоления препятствия пружина 10 возвращает делитель в рабочее положение.

Наряду с преимуществами виброделителей у них имеются и недостатки, заключающиеся в основном в сложности конструкции и эксплуатации.

Поэтому с точки зрения более рационального решения целесообразным является импульсное возмущение, обеспечиваемое выбором определенной геометрии (например, переменной кривизны) стеблеподводов, в которых одновременно с изменением характера движения стеблей по стеблеподводу возникает возмущение для дополнительных динамических импульсов.

С этой целью рабочую поверхность стеблеподводов предлагается исполнять в форме пилообразного профиля, в котором профиль зуба выполняется в виде ступенчатой фигуры [6].

Сход стеблей с зуба происходит скачкообразно (ударно). После бесконтактного движения стебли вступают в ударный контакт с зубом стеблеподвода, при котором происходит изменение количества движения (кинетической энергии).

Отклонение стеблей определяет положение средней (условной) линии стеблеподвода, установленного под углом к направлению движения, проходящей через вершины зубьев. Высота зуба (глубина впадины) определяется расчетом. Она влияет на время бесконтактного движения. Импульсное воздействие зубьев на стебли будет циклическим.

При этом амплитуда колебаний a определяется зависимостью [7]:

$$a = \frac{S}{2 \cdot m \cdot p} \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \left(\frac{\pi \cdot p}{\omega} \right)} = \frac{S}{2 \cdot m \cdot p \cdot \sin \left(\frac{\pi \cdot p}{\omega} \right)}, \quad (1)$$

где $S = m \cdot v_M$ – импульс движения; m – приведенная масса стебля; v_M – скорость машины; p – круговая частота собственных колебаний стебля; $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ – основная частота возбуждения; T – период воздействия силы.

Дробь $\frac{S}{m \cdot p}$ есть максимальное отклонение стебля, вызванное одним импульсом, поэтому

выражение $K = \frac{1}{2 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot p}{\omega}\right)}$ называется коэффициентом влияния повторности импульсов.

При скольжении зубьев стеблеподвода по стеблям возникают периодические силы трения $F_{TP} = f_c \cdot N$, где f_c – коэффициент трения скольжения стеблей льна о рабочую поверхность стеблеподводов; N – нормальная сила (упругая сила деформации стебля по направлению нормали к рабочей поверхности стеблеподводов). Она может быть определена по формуле [5]:

$$N = \frac{E \cdot J}{\rho \cdot l}, \quad (2)$$

где $E \cdot J$ – жесткость стеблей на изгиб; ρ – радиус кривизны изогнутых стеблей стеблеподводом; l – удаление центра масс верхушечной части стеблей от поверхности их касания со стеблеподводом.

Периодические возмущающие силы $P(t)$ имеют четко выраженный период колебаний T , но не описываются единым аналитическим выражением. В подобных случаях чаще всего пользуются разложением периодической силы в ряд Фурье. При этом сила представляется в виде суммы гармонических составляющих, а затем определяется эффект, вызываемый каждой из составляющих; после этого полученные частные эффекты суммируются.

С учетом этого периодическую силу $P(t)$ можно представить в виде ряда Фурье [7]

$$P(t) = a_0 + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos \omega t + \dots + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin \omega t + \dots,$$

где a_0, a_1, a_2, b_1, b_2 – коэффициенты, вычисляющиеся при помощи известных из теории рядов Фурье формул:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt; \quad a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T P(t) \cos \omega t dt; \quad b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T P(t) \sin \omega t dt;$$

$$a_2 = \frac{2}{T} \int_0^T P(t) \cos 2\omega t dt; \quad b_2 = \frac{2}{T} \int_0^T P(t) \sin 2\omega t dt.$$

Перемещение x , вызываемое силой $P(t)$, при нулевых начальных условиях для стационарной, незатухающей части вынужденных колебаний, определяется по формуле [7]:

$$x = \frac{x_{CT}}{1 - \frac{\omega^2}{p^2}} \sin \omega t, \quad (3)$$

где $x_{CT} = P_0/c$ – прогиб, вызываемый статически приложенной постоянной силой P_0 , а $c = mp^2$.

С учетом сил трения F_{TP} , возникающих при скольжении зубьев стеблеподвода по стеблям, и решением (3), полученным для одной гармоники, текущее отклонение x стебля при воздействии на него стеблеподвода определится в соответствии с зависимостью [7]

$$x = \frac{a_0}{c} + \frac{a_1 \cdot \cos \omega t + b_1 \cdot \sin \omega t}{c \cdot (1 - \omega^2 / p^2)} + \frac{a_2 \cdot \cos \omega t + b_2 \cdot \sin \omega t}{c \cdot (1 - \omega^2 / p^2)} + \dots, \quad (4)$$

где a_0, a_1, a_2, b_1, b_2 – коэффициенты, вычисляющиеся по выше указанным формулам из теории рядов Фурье.

Как видно, это решение состоит из постоянного слагаемого a_0/c соответствующего среднему значению возмущающей силы, и ряда гармонических колебаний с частотами $\omega, 2\omega, \dots$. Если собственная частота колебаний совпадает с частотой какой-либо одной гармоники $n\omega$ ($n = 1, 2, 3, \dots$),

то соответствующее слагаемое в формуле (4) становится неограниченным. Следовательно, в общем случае периодической возмущающей силы резонанс наступает не только, когда собственная частота p равна основной частоте ω возмущающей силы, но и когда p кратно ω . В частных случаях, когда в формуле (4) отсутствуют некоторые слагаемые, резонанс наступает не при любой кратности.

Таким образом, результаты показывают, что при использовании пилообразного профиля стеблеподвода делителя растения подводимого льна будут совершать гармонические колебания в двух плоскостях: по нормали к поверхности зуба в соответствии с зависимостью (1) и по касательной к ней в соответствии с формулой (4).

Указанные колебания будут способствовать лучшему разрушению связей в верхушечной части подводимой системы растений льна. Приведенное решение является приближенным. Более точное решение этой задачи можно предложить, если учесть сцепление растений семенными коробочками в верхушечной части как неупругое сопротивление. В этом случае пиковое значение смещения x при колебании стебля определится по формуле [7]:

$$x = e^{-nt} \left(x_0 \cdot \cos \sqrt{p^2 - n^2} t + \frac{v_0 + n \cdot x_0}{\sqrt{p^2 - n^2}} \sin \sqrt{p^2 - n^2} t \right), \quad (5)$$

где n – коэффициент вязкости (сцепления растений в верхушечной части); x_0 – начальное смещение стебля; p – круговая частота собственных колебаний стебля; v_0 – начальная скорость стебля.

Из (5) следует, что отклонение в верхушечной части растений льна от первоначального положения носит затухающий характер. Это в значительной степени сказывается на динамике взаимодействия стеблеподводов с массой стеблей.

Практическое исполнение делителей с пилообразным профилем рабочей поверхности стеблеподводов следует увязывать с тем условием, что собственная частота верхушечной части подводимых растений льна будет увеличиваться. В связи с этим конструктивные параметры пилообразного стеблеподвода следует исполнять с учетом изменения собственной частоты и амплитуды колебаний подводимых растений путем изменения длины и высоты зуба стеблеподвода.

Изложенные результаты исследования показывают возможности дальнейшего повышения эффективности работы делителей благодаря применению виброделителей или делителей с пилообразной формой рабочей поверхности стеблеподводов.

Выводы. Предложены пути дальнейшего совершенствования делителей, заключающиеся в уменьшении угла трения стеблей о рабочую поверхность стеблеподводов, сокращении пути и времени контакта стеблей с ними.

Первый из них обеспечивается путем придания рабочей поверхности стеблеподводов возможно меньшей шероховатости ее полированием или покрытием другими прочными и износостойкими материалами, например полимерными.

Второй достигается выполнением технологического процесса подвода растений льна с использованием вибраций, путем применения виброделителей или исполнением рабочей поверхности стеблеподводов в форме пилообразного профиля, при котором сход стеблей с зуба происходит скачкообразно, когда после бесконтактного движения они вступают в ударный контакт с зубом стеблеподвода, т.е. процесс подвода сопровождается вибрацией стеблей, а импульсное воздействие зубьев на них является циклическим.

При упругом сопротивлении подводимых растений льна амплитуда a колебаний стеблей определяется зависимостью (1), а их текущее отклонение x от первоначального положения – по (4).

С учетом сцепления растений семенными коробочками в верхушечной части в виде неупругого сопротивления пиковое значение смещения x при колебании стебля рассчитывается по формуле (5), а отклонение верхушечной части растений льна носит затухающий характер, что в значительной степени сказывается на динамике взаимодействия стеблеподводов с массой стеблей.

Для исключения резонанса конструктивные параметры пилообразного стеблеподвода следует исполнять с учетом изменения собственной частоты и амплитуды колебаний подводимых растений изменением длины и высоты зуба стеблеподвода.

1. Маят А.С. Методика проектирования и расчета делителей льноуборочных машин / Маят А.С. – М.: ВИЭСХ, 1969. – 54 с.
2. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / Летошнев М.Н. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1955. – 780 с.
3. Налобина О.О. Льнозбиральні комбайни (основи теорії і розрахунку механізмів та питання експлуатації) / Налобина О.О. – Луцьк: Ред.-вид. відділ Луцького ДТУ, 2006. – 208 с.
4. Хайлис Г.А. Теория льноуборочных машин / Хайлис Г.А. – М.: Росинформагротех, 2011. – 322 с.
5. Родионов Л.В. Динамические особенности взаимодействия делителя со стеблями / Л.В. Родионов, М.М. Ковалев // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – № 5. – С. 36–38.
6. Ковалев М.М. Обоснование формы профиля верхнего центрального стеблеподвода делителя льноуборочной машины / М.М. Ковалев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 8. – С. 9–10.
7. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара / Пановко Я.Г. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
8. Толстущко М.М. Розстільальні пристрої льнозбиральних машин / Толстущко М.М., Хайліс Г.А., Толстущко Н.О. – Луцьк: Ред.-вид. відділ Луцького НТУ, 2014. – 160 с.

REFERENCES

1. Mayat, A. (1969). *Technique of designing and calculating divisors flax machines*. [Metodyka proektyrovanya i rascheta delyteley lnouborochnuh mashyn]. Moscow, Publ. VIESH. 54 p.
2. Letoshnev, M. (1955). *Agricultural machinery*. [Selskohozyaystvennye mashyny]. Moscow-Leningrad, Selhozhyz. 780 p.
3. Nalobina, O. (2006). *Flax harvesting equipment (calculate the basic theory of mechanisms and exploitation)*. [Lonozbiralni kombayni (osnovu teorii i rozrahunku mehanizmv ta pitannya ekspluatatsii)]. Lutsk, RVV of Lutsk STU. 208 p.
4. Haylis, G. (2011). *Theory of flax machines*. [Teoriya lnouborochnyh mashin]. Moscow, Rosinformagroteh. 322 p.
5. Rodionov, L. & Kovalev, M. (1985). Dynamic features of the interaction divider with stems. [Dynamycheskye osobennosti vzaymodeystviya delytelya so steblyamy]. *Traktory i selhozmashyny*. Vol. 5, pp. 36–38.
6. Kovalev, M. (2010). Justification of the profile shape of the upper central divider supplying flax machines. [Obosnovanye formu profylya verhnego tsentralnoho steblepodvoda delytelya lnouborochnoy mashiny]. *Mehanyzatsyya i elektryfikatsyya selskoho hozyaystva*. Vol. 8, pp. 9–10.
7. Panovko, J. (1976). *Introduction to theory of mechanical shock*. [Vvedenye v teoryyu mehanicheskoho udara]. Leningrad, Mashinostroenie. 320 p.
8. Tolstushko, N., Haylis, G., & Tolstushko, N. (2014). *Devices for spreading in flax machines*. [Rozstilalnyi pristroi lonozbiralnih mashin]. Lutsk, RVV of Lutsk NTU. 160 p.

Ковальов М.М. Інноваційні шляхи підвищення ефективності роботи подільників збиральних машин

Запропоновано інноваційні шляхи підвищення ефективності технологічного процесу підведення рослин подільниками до інших робочих органів збиральних машин. Вони полягають у зменшенні мінімального кута тертя стебел об робочу поверхню стеблепідводів, а також скороченні шляху і часу контакту стебел зі стеблепідводами. Для реалізації цих шляхів розроблені вібраційні подільники та подільники, у яких робочі поверхні стеблепідводів виконані у формі пилкоподібного профілю, в якому профіль зуба виконується у вигляді ступінчастої фігури. Проведено теоретичний аналіз процесу переміщення стеблепідвода з пилкоподібним профілем робочої поверхні по стеблах.

Ключові слова: льон, віброподільники, стеблепідводи змінної кривизни, пилкоподібна форма, кут тертя, амплітуда коливань, зміщення.

M. Kovalev. Innovative ways to improve performance of divisors of harvesting machines

In the majority of machines for harvesting of crops or continuous close drill seeding applied working bodies, called dividers, designed to separate the mass of plants coming into the car from the left in the field or for the division of the entire band stems, captured the machine into narrow strips. In grain cars are extreme divisors, while the average is called fingers. In extreme mowers divisors are called pads, and the average - with your fingers. In flax machines divisors are called medium or extreme. And divisors, and the fingers are separated mass of stems in order to bring them into a zone of effective exposure of workers separating the plant from the soil. Laws of the impact of dividing the bodies have much in common to all of these sweepers. Most prominently the general laws of the dividing of harvesting machines can be seen in subgroups of flax devices. Specificity of flax causes much more important impact workflow divisors on the character and the work of other working bodies of flax machines than in reaping machines, based on a section of the plant.

Offer innovative ways to improve the process for supplying plants divisors other working bodies sweepers. They lie in the reduction of the minimum angle of friction stems on a work surface inlets, as well as the reduction of the path and the contact time stems from the carts. To implement these pathways developed vibrating splitters and splitters, in which the working surfaces inlets are in the shape of the sawtooth profile in which the tooth profile formed as a stepped shape.

Practical implementation dividers with sawtooth profile of the working surface inlets should be linked to the condition that the natural frequency of the apical part of the flax plant supplied will increase. In this regard, the design parameters of the supply ramp should fulfill considering change of natural frequency and vibration amplitude input plants by changing the length and height of the tooth feed. A theoretical analysis of the process of moving from supply sawtooth profile of the working surface of the stem.

Keywords: flax, vibrating divisors, carts variable curvature, sawtooth shape, angle of friction, the oscillation amplitude, offset.

АВТОР:

КОВАЛЕВ Михаил Михайлович, доктор технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства, директор института, e-mail: vniiml1@mail.ru

АВТОР:

КОВАЛЬОВ Михайло Михайлович, доктор технічних наук, Всеросійський науково-дослідний інститут механізації льонарства, директор інституту, e-mail: vniiml1@mail.ru

AUTHOR:

Mikhail KOVALEV, Doctor of Science in Engineering, Russian Scientific Research Institute of Mechanization of Flax, Director of the Institute, e-mail: vniiml1@mail.ru

РЕЦЕНЗЕНТ:

ШВАБ'ЮК В.И., доктор технических наук, профессор, Луцкий национальный технический университет, профессор кафедры технической механики, Луцк, Украина.

РЕЦЕНЗЕНТ:

ШВАБ'ЮК В.І., доктор технічних наук, професор, Луцький національний технічний університет, професор кафедри технічної механіки, Луцьк, Україна.

REVIEWER:

V. SHVABYUK, Doctor of Science in Engineering, Professor, Department of Technical Mechanics, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine.

Стаття надійшла в редакцію 24.11.2014р.