

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

УДК 631.358:633.521

DOI: 10.31857/S2500262722010094

НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ОЧЕСА СЕМЕННЫХ КОРОБОЧЕК ПРИ ДВУХФАЗНОЙ УБОРКЕ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА***Ю.Ф. Лачуга**¹, академик РАН, **А.Н. Зинцов**², доктор технических наук, **М.М. Ковалев**³, доктор технических наук, **Г.А. Перов**³, кандидат технических наук¹Российская академия наук,

119334, Москва, Ленинский проспект, 32 А

²Костромская государственная сельскохозяйственная академия»,

156530, Кострома, пос. Караваяево, 34

³Федеральный научный центр лубяных культур,

170041, Тверь, Комсомольский проспект, 17/56

E-mail: m.kovalev@fncl.ru

Одна из технологий, используемых при производстве льна-долгунца – двухфазная уборка. Во второй фазе ее реализации проводится очес семенных коробочек с ленты стеблей, качество которого зависит от положения ленты стеблей относительно гребней очесывающего аппарата. Цель исследования — изучение процессов и разработка устройств для ориентированной подачи ленты растений в очесывающий аппарат подборщика-очесывателя при двухфазной уборке льна-долгунца. Наиболее значимый фактор для обеспечения качественного очеса — устранение ошибок копирования кривизны ленты растений льна подбирающим рабочим органом в плоскости поверхности поля. В результате теоретических исследований установлено, что при работе гребневого очесывающего аппарата указанные ошибки могут вызвать снижение чистоты очеса до 88,4 %. Доминирующее влияние этого фактора на потери семян получило экспериментальное подтверждение. Исключить или значительно уменьшить потери семян можно путем исправления ошибок копирования кривизны ленты растений льна. Решение такой задачи возможно путем использования устройства для ориентированной подачи растительной массы в очесывающий аппарат и системы автоматического управления взаимным расположением этих рабочих органов.

SCIENTIFIC ASPECTS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF SEEDPOD COMBING PROCESSES IN TWO-PHASE HARVESTING OF FLAX**Lachuga Yu. F.¹, Zintsov A.N.², Kovalev M. M.³, Perov G. A.³**¹Russian Academy of Sciences,

119334, Moskva, Leninskii prosp., 32 A

²Kostroma State Agricultural Academy,

156530, Kostroma, pos. Karavaevo, 34

³Federal Research Center for Bast Crops,

170041, Tver', Komsomol'skii prospekt, 17/56

E-mail: m.kovalev@fncl.ru

One of the applied technologies for the production of flax is the technology of two-phase harvesting. In the second phase of this technology, seed pods are combed from the ribbon of stems. The indicators of the quality of the comb depend on the position of the ribbon of the stems relative to the combs of the combing apparatus. The purpose of the study is to develop and study processes and devices for oriented feeding of plant tape into the combing apparatus of the picker-comber during two-phase harvesting of flax. It is noted that the most significant factor for ensuring high-quality coverage is the elimination of errors in copying the ribbon of flax plants by the selecting working body in the plane of the field surface. As a result of theoretical studies, it was found that during the operation of the apparatus for separating seeds from stems, these errors can cause a decrease in the purity of separating seeds to 88,4%. At the same time, the dominant influence of this factor on seed losses was experimentally confirmed. It is possible to eliminate or significantly reduce seed losses by correcting errors in copying the curvature of the flax plant ribbon. Solutions to this problem are proposed by using a device for the oriented supply of plant mass to the combing apparatus and automatic control systems for the mutual arrangement of these working bodies.

Ключевые слова: лен, технология двухфазной уборки, очесывающий аппарат, лента растений, копирование, систематическая ошибка, ориентирующее устройство.

Key words: flax, two-phase harvesting technology, combing apparatus, plant tape, copying, systematic error, orienting device.

Результативность производства льна-долгунца обусловлена множеством факторов, самый весомый среди которых – технология уборки: комбайновая, двухфазная или комбинированная [1-3]. Наибольший интерес представляет технология двухфазной уборки из-за возможности получения высококачественной льнопродукции при заметном снижении ее себестоимости [4-6].

Для реализации первой фазы технологии двухфазной уборки используют навесные, прицепные или самоходные льнотеребилки. Вторая, наиболее ответственная, фаза предусматривает сбор семенной части урожая, при

котором отделение семенных коробочек от стеблей в поле выполняют подборщиками-очесывателями, чаще всего оснащенными гребневыми очесывающими аппаратами. Работа аппаратов такого типа всесторонне и глубоко исследована применительно к технологии комбайновой уборки [7, 8, 9].

При этом установлена зависимость между геометрическими параметрами гребневого очесывающего аппарата и шириной зоны активного действия его гребней $B_{аз}$ [10, 11, 12]. Разработана методика расчета размера зоны семенных коробочек в ленте растений льна $B_{л}$,

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005)

подаваемой в очесывающий аппарат, с учетом дальнейшего увеличения ее размера в результате воздействия на растения теребивными рабочими органами комбайна [11]. Известно, что для наиболее полного сбора семян размер $B_{аз}$ зоны активного действия гребней очесывающего аппарата должен превышать ширину зоны B_n [6, 12, 13]. Однако знание указанных технологических зон — только служит основой для дальнейшего поиска путей увеличения сбора льнопродукции при работе гребневых очесывающих аппаратов.

Установлено также [14, 15, 16], что все процессы, происходящие на входе в очесывающий аппарат льнокомбайна, имеют случайный характер. При этом изменение ширины зоны возможного расположения семенных коробочек в очесываемой ленте растений зависит от множества изменяющихся факторов [6]:

$$B_n(t) = b_a(t) + b_\lambda(t) + l(t), \quad (1)$$

где $b_a(t)$ — процесс изменения зоны семенных коробочек на растениях;

$b_\lambda(t)$ — процесс изменения величины продольного смещения (растянутости) стеблей в ленте под воздействием рабочих органов теребивной части льнокомбайна; $l(t)$ — процесс изменения высоты стеблестоя льна.

Главным тезисом в анализируемых работах [10, 11] было условие полного отделения семенных коробочек от стеблей:

$$B_{аз} \geq B_n(t). \quad (2)$$

Практические расчеты с использованием числовых характеристик, представленных в работе [6], показали, что ординаты процесса $B_n(t)$ на входе в очесывающий аппарат льноуборочного комбайна ЛК-4А располагаются в границах от 0,35 до 0,56 м. Результаты сравнения полученного диапазона с реальным размером $B_{аз}$, равным 0,55 м [13], свидетельствуют о надежном соблюдении условия неравенства (2) в подавляющем большинстве случаев. Следует отметить, что представленное соотношение касается только размеров зон $B_{аз}$ и B_n и является необходимым, но не достаточным условием для обеспечения максимального сбора семян при комбайновой уборке. Для достижения обозначенного эффекта необходимо также знать оптимальную согласованность указанных технологических зон в пространстве. Очевидно, что такое заключение может быть справедливым и по отношению ко второй фазе технологии двухфазной уборки. Однако, несмотря на высокую эффективность указанной технологии, пространственная согласованность зоны активного действия гребней очесывающего аппарата и зоны возможного расположения семенных коробочек в ленте растений при работе подборщиков-очесывателей нуждается в дополнительном исследовании и обосновании.

Цель исследования — изучение процессов и разработка устройств для ориентированной подачи ленты растений в очесывающий аппарат подборщика-очесывателя при двухфазной уборке льна долгунца.

Методика. При проведении исследования использовали методы общего и логического анализа, а также расчетно-конструктивный метод. Теоретические исследования выполняли методами теоретической и аналитической механики, теории механизмов и машин, а также методами решения задач с использованием ПК. Экспериментальное подтверждение полученных результатов было выполнено с использованием стандартных методик и методов математической статистики [17, 18] на лабораторной установке, состоящей из очесывающего аппарата льноуборочного комбайна ЛК-4А, питающего транспортера, системы привода указанных рабочих

органов, блока управления и устройства для сбора продуктов очеса [6].

При проведении исследований исходили из того, что главным критерием качества работы подборщика-очесывателя лент льна служит чистота очеса $Ч$ семенных коробочек со стеблей, а структурные параметры ленты льна (кривизна, растянутость, длина и перекосы стеблей в ленте) и процесс ее копирования подбирающим аппаратом при подъеме с поверхности поля имеют случайный характер.

Для большей реалистичности последующих рассуждений необходимо отметить, что гребневой аппарат подборщика-очесывателя работает в более сложных условиях из-за расширения границ возможного расположения вершин стеблей с семенными коробочками в обрабатываемой ленте растений на входе в очесывающий аппарат на величину дополнительной помехи $y_6(t)$. Появление $y_6(t)$ — это следствие, точно повторяющее ошибки копирования или поперечных отклонений подбирающего аппарата от ленты льна в горизонтальной плоскости [6, 13].

Наблюдения за работой машинных агрегатов в поле показали, что при движении льноподборщиков механизаторы направляют подбирающий рабочий орган на ленту льна, используя различные ориентирные на ее поверхности. В зависимости от личных предпочтений в качестве ориентиров они используют ординаты линий, проходящих по комлевой или вершинной частям ленты растений, или по середине ее ширины.

Анализ представленных способов управления процессом подбора показал, что копирование ленты растений льна по середине ее ширины или по комлевой части расширяет диапазон $B_n(t)$ возможного расположения семенных коробочек относительно активной зоны $B_{аз}$ очесывающего аппарата подборщика-очесывателя. При копировании по середине этот диапазон увеличивается на половину величины изменения длины стеблей, а при копировании по комлям — на всю указанную величину. В рассмотренных вариантах подборщик-очесыватель должен иметь передвижной очесывающий аппарат, способный сохранять свое оптимальное положение относительно ленты растений при изменении длины последних. Однако большинство научных и проектных организаций, занимающихся созданием подборщиков-очесывателей, идут по упрощенному пути и проектируют очесывающие аппараты в неподвижном исполнении. Такая конструкция обуславливает целесообразность копирования ленты растений по ординатам расположения их вершинной части. При этом оптимальность и стабильность положения семенных коробочек в ленте относительно активной зоны $B_{аз}$ очесывающего аппарата будут также зависеть и от случайного процесса $y_6(t)$. Вместе с тем, влияние процесса $l(t)$ изменения длины стеблей растений (высоты стеблестоя) на зависимость (1) будет исключено. Из этого следует, что для неподвижного очесывающего аппарата подборщика-очесывателя ширина зоны возможного расположения семенных коробочек в ленте растений льна относительно $B_{аз}$ будет равна:

$$B_n(t) = b_a(t) + b_\lambda(t) + y_6(t). \quad (3)$$

Очевидно, что сбор семян возможен только с той части зоны их расположения, которая попадет в активную зону $B_{аз}$ действия гребней очесывающего аппарата.

Теоретические исследования решения поставленной задачи проводили при следующих допущениях:

чистота очеса семенных коробочек, попавших в зону $B_{аз}$, составляет 100%;

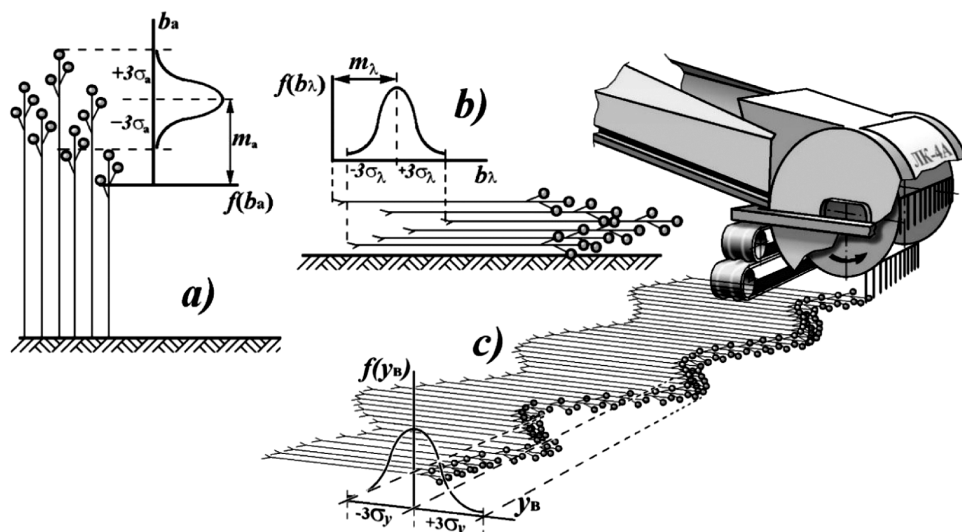


Рис. 1. Формирование зоны возможного расположения семенных коробочек в ленте льна относительно активной зоны очесывающего аппарата: а — процесс изменения зоны семенных коробочек на растениях; б — процесс изменения величины продольного смещения (растянутости) стеблей в ленте под воздействием рабочих органов льнотеребилок; с — процесс изменения ординаты вершин стеблей на входе в очесывающий аппарат в результате случайных поперечных отклонений подборщика от ленты растений льна.

все структурные параметры ленты растений льна после ее подбора и до поступления в очесывающий аппарат остаются неизменными;

все анализируемые процессы независимы с коэффициентом их взаимной корреляции, равным нулю;

все случайные процессы, обозначенные в работе, имеют стационарный характер;

расположения ординат в реализациях случайных процессов $b_a(t)$, $b_\lambda(t)$ и $y_b(t)$ подчинены нормальному закону распределения (рис. 1).

В соответствии с принятым пятым допущением все значения ординат в реализациях случайных процессов $b_a(t)$, $b_\lambda(t)$ и $y_b(t)$ распределены по нормальному закону, который задаётся функцией плотности вероятности [12]:

$$f(x) = (1/\sigma\sqrt{2\pi}) \cdot e^{-(x-m)^2/2\sigma^2}, \quad (4)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение; m — математическое ожидание.

Отсутствие математического ожидания или его нулевое значение у процесса $y_b(t)$ свидетельствует о том (см. рис. 1, с), что механизатор при управлении агрегатом направляет подбирающий аппарат ориентируясь только на макроизгибы кривизны ленты льна [13], оставляя за пределами фильтрации высокочастотные колебания этого процесса. При этом среднее квадратическое отклонение σ_y характеризует диапазон рассеивания амплитуд неотфильтрованной части колебательного спектра, относительно нулевого значения, в правую и левую стороны.

Анализ зависимости (3) с учетом последнего допущения показал на наличие композиции нормальных законов распределения ординат в реализациях случайных процессов $b_a(t)$, $b_\lambda(t)$ и $y_b(t)$. Опираясь на известное свойство «устойчивости» нормального закона [14, 17], математическое ожидание композиционного процесса $B_a(t)$ или центр рассеивания его значений будет определен по выражению:

$$m_{B_a} = m_a + m_\lambda, \quad (5)$$

причем $m_\lambda = (m_{\lambda_{отн}} - 1) \cdot m_\lambda$, а среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{B_a} = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_y^2}, \quad (6)$$

где m_a и σ_a — математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение процесса изменения размера зоны семенных коробочек на растениях (см. рис. 1, а); m_λ и σ_λ — математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение процесса изменения абсолютной величины продольного смещения (растянутости) стеблей в ленте под воздействием рабочих органов теребилок льна (см. рис. 1, б); $m_{\lambda_{отн}}$ — математическое ожидание процесса изменения относительной растянутости стеблей в ленте; m_λ — математическое ожидание процесса изменения высоты стеблестоя.

С учетом выражений (5) и (6) плотность вероятности композиционного распределения значений ширины зоны возможного расположения семенных коробочек в ленте растений льна относительно B_{a3} примет вид:

$$f(B_a) = (1/\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_y^2}) \cdot (1/\sqrt{2\pi}) \cdot e^A, \quad (7)$$

$$\text{где } A = -\left(\frac{B_a - (m_a + m_\lambda)}{\sigma_a^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_y^2}\right)^2.$$

В работах [14, 15, 16] установлено, что расположение комлей и вершин в ленте подчиняется закону нормального распределения. Для проведения дальнейших вычислений следует определить основные числовые характеристики этого распределения m_c и σ_c (рис. 2).

С учетом известного «правила трех сигма» [17], ширина зоны возможного расположения семенных коробочек в ленте растений льна изменяется в диапазоне:

$$B_a = m_{B_a} \pm n \cdot \sigma_{B_a}, \quad (8)$$

где n — количество средних квадратических отклонений (с учетом «правила трех сигма» $n = 0...3$).

Ординаты расположения основных параметров распределения количества N_c семенных коробочек по зоне B_a с учетом выражения (8) определяются следующим образом:

$$m_c = (m_{B_a} \pm n \cdot \sigma_{B_a}) / 2, \quad (9)$$

$$\sigma_c = (m_{B_a} \pm n \cdot \sigma_{B_a}) / 6. \quad (10)$$

При работе машины указанная оптимальность будет достигнута при постоянном совпадении ординаты середины активной зоны очесывающего аппарата $B_{a3} / 2$ и ординаты центра рассеивания количества семенных коробочек m_c (см. рис. 2, а).

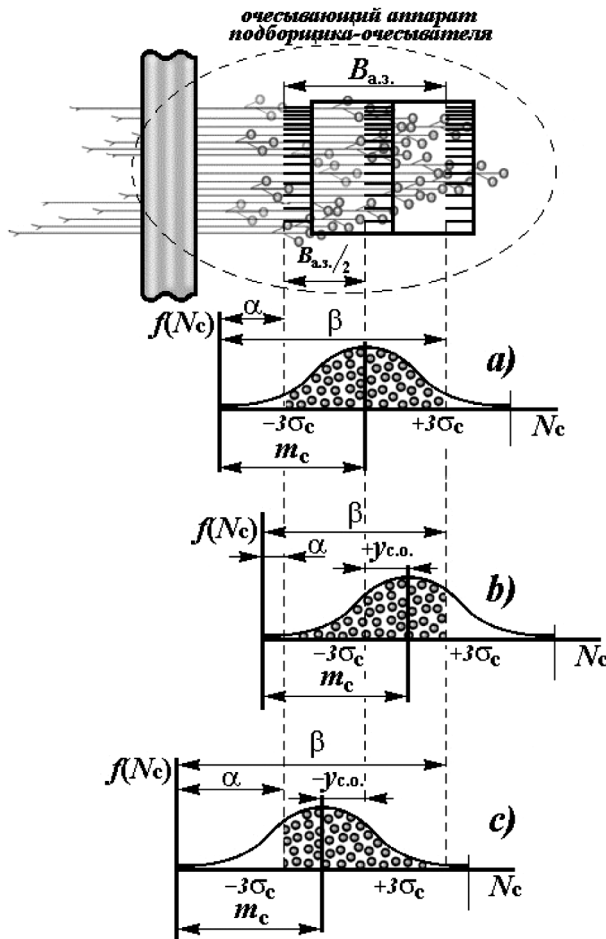


Рис. 2. Варианты нарушений оптимального согласования технологических зон (чистота очеса схематически выделена долей площади под кривой $f(N_c)$, заполненной семенными коробочками).

Чистоту очеса можно представить в виде вероятности P попадания случайной величины N_c на участок от α до β :

$$Ч = P(\alpha < N_c < \beta), \quad (11)$$

где α и β — ординаты проекций границ зоны B_{az} на кривую $f(N_c)$ распределения семян по сечению ленты.

В штатной ситуации при оптимальной согласованности технологических зон B_{az} и B_{az} в результате точного копирования всех изгибов подбираемой ленты льна видно (см. рис. 2, а), что в (11) $\alpha = m_c - (B_{az} / 2)$, а $\beta = m_c + (B_{az} / 2)$.

Во всех наблюдаемых реализациях обнаружены «стационарные помехи» в виде систематических ошибок y_{co} копирования или случайных поперечных отклонений подборщика от ленты растений льна. Математические ожидания m_i выявленных ошибок имели значения от $-0,092$ до $+0,114$ м [6]. Анализ механизма возникновения «стационарных помех» показывает на то, что они не оказывают влияния на ширину зоны возможного расположения семенных коробочек в ленте растений. При появлении ошибки y_{co} происходит смещение технологической зоны B_{az} относительно зоны B_{az} на величину этой ошибки (см. рис. 2, б, с). Поэтому использование значения систематической ошибки y_{co} в дальнейших расчетах в виде математического ожидания процесса $y_a(t)$ нецелесообразно. При этом знак «плюс» означает, что подбирающий рабочий орган, а значит и очесывающий

аппарат (см. второе допущение), имеют систематическое отклонение на величину y_{co} от выбранных ориентиров вправо, ближе к комлевой части ленты растений, а знак «минус» влево. Среднее квадратическое отклонение σ_y процесса $y_a(t)$ характеризует диапазон рассеивания амплитуд его колебаний без учета систематической ошибки y_{co} .

При появлении систематической ошибки y_{co} (см. рис. 2, б, с), ординаты α и β проекций границ зоны B_{az} на кривую $f(N_c)$ сместятся на величину этой ошибки, то есть $\alpha = (m_c - (B_{az} / 2)) \pm y_{co}$ и $\beta = (m_c + (B_{az} / 2)) \pm y_{co}$.

Представляя чистоту очеса через стандартную функцию распределения $\Phi(Z)$ имеем:

$$Ч = \Phi((\beta - m_c) / \sigma_c) - \Phi((\alpha - m_c) / \sigma_c). \quad (12)$$

Аргументы функции Φ в формуле (12) есть расстояние $(\beta - m_c) / \sigma_c$ от правого конца участка β до центра рассеивания m_c , выраженное в средних квадратических отклонениях σ_c , а $(\alpha - m_c) / \sigma_c$ — расстояние от левого конца участка α .

Для практических расчетов комплексной оценки зависимости чистоты очеса от влияния случайных процессов $b_a(t)$, $b_\lambda(t)$ и $y_a(t)$ с учетом систематической ошибки y_{co} проведем подстановку формул (5), (6) и (10) и запишем уравнение (12) в виде:

$$Ч = \Phi(B / C) - \Phi(D / C), \quad (13)$$

$$\text{где } B = 6[(B_{az} / 2) \pm y_{co}];$$

$$C = m_a + (m_{\lambda, \text{отн}} - 1) \cdot m_i \pm n \sqrt{(\sigma_a^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_y^2)};$$

$$D = -6 \cdot [(B_{az} / 2) \pm y_{co}].$$

Чистота очеса $Ч$ при работе подборщика-очесывателя определяется по выражению (13) через табличные значения стандартной функции распределения Φ [17], зависит от систематической ошибки y_{co} и основных параметров исследуемых процессов: математических ожиданий m_a , m_p , $m_{\lambda, \text{отн}}$ и средних квадратических отклонений σ_a , σ_λ , σ_y .

Исследование зависимости (13) будем проводить в диапазоне значений систематических ошибок от $-0,1$ до $+0,1$ м [6, 16]. Уменьшение ширины зоны возможного расположения семенных коробочек в ленте растений льна не окажет отрицательного влияния на качество работы очесывающего аппарата (см. условие (2)). Поэтому анализ целевой функции $Ч$ проведем только в направлении расширения указанной зоны $m_{Bz} \rightarrow m_{Bz} + n \cdot \sigma_{Bz}$ с использованием усредненных значений основных параметров случайных процессов (см. табл.), полученных в итоге многолетних научных исследований [6, 11].

Результаты и обсуждение. Анализ расчетной графической зависимости чистоты (полноты) очеса $Ч$ семян при работе подборщика-очесывателя показал, что качество работы подборщика с неподвижным очесывающим аппаратом в большинстве случаев не будет удовлетворять агротехническим требованиям (рис. 3). При самом неблагоприятном стечении исследуемых обстоятельств

Значения основных параметров исследуемых процессов

Параметр	m_a , см	m_p , см	$m_{\lambda, \text{отн}}$	σ_a , см	$\sigma_{\lambda, \text{отн}}$	σ_y , см
Значение параметра	20,7	80,0	1,4	5,05	0,10	5,71

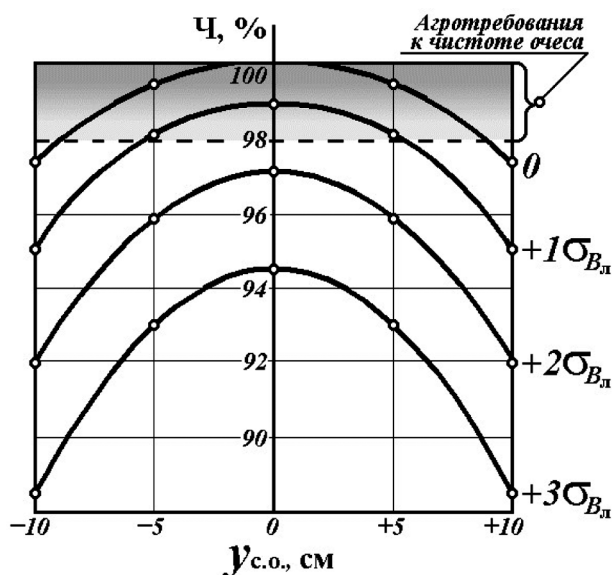


Рис. 3. Зависимость чистоты очеса \mathcal{C} семян от систематической ошибки u_{co} копирования ленты льна и ширины $B_{л}$ зоны возможного расположения семенных коробочек.

($y_{co} = \pm 0,1m$ и $B_{л} = m_{B_{л}} + 3 \cdot \sigma_{B_{л}}$) величина этого показателя может снизиться до 88,4 %. При этом доля потерянных семян, не попавших в границы $B_{аз}$ активного действия гребней очесывающего аппарата, обусловлена расширением технологической зоны $B_{л}$ из-за влияния на нее случайных процессов $b_a(t)$, $b_{л}(t)$. Указанное расширение обусловлено качеством выполнения технологических операций от подготовки семян и поля к посеву до первой фазы двухфазной уборки включительно [1, 4, 11]. При реализации второй фазы эту часть расширения уменьшить практически невозможно [9, 10].

Другая, наибольшая часть потерь семян вызвана пространственным рассогласованием технологических зон $B_{аз}$ и $B_{л}$ под влиянием случайного процесса $y_{г}(t)$.

В ходе экспериментальных исследований по определению зависимости потерь семян $Q_{сем}$ при очесе семенных коробочек с ленты стеблей гребневым очесывающим аппаратом от размера зоны семенных коробочек в ленте льна $B_{л}$, ординаты указанной зоны относительно очесывающего аппарата $y_{в}$ и плотности стеблевой массы ρ была получена математическая модель адекватно характеризующая исследуемый процесс [6, 13]:

$$Q_{сем} = 5,315 - 7,758 \cdot y_{в} + 3,194 \cdot B_{л} - 0,577 \cdot \rho - 1,166 \cdot B_{л}^2 + 4,782 \cdot y_{в}^2 - 3,483 \cdot B_{л} \cdot y_{в} - 0,465 \cdot B_{л} \cdot \rho + 0,569 \cdot y_{в} \cdot \rho. \quad (14)$$

Анализ зависимости (14) показал основную роль в формировании потерь семенной части урожая факторов $B_{л}$ и $y_{в}$.

Для снижения влияния фактора $B_{л}$ на потери семян $Q_{сем}$ следует формировать минимальный размер зоны семенных коробочек в ленте растений путем использования для посева кондиционных семян высоких репродукций и качественного выполнения технологических операций, начиная от подготовки поля к посеву и до тербления льна.

Более заметно уменьшить указанные потери можно путем исправления ошибок копирования кривизны ленты льна перед подачей ее в очесывающий аппарат. Для этого в конструкции подборщика-очесывателя це-

лесообразно использовать разработанное специальное ориентирующее устройство (рис. 4) [17, 18, 19]. Оно включает в себя стол 3, выполненный под углом γ к горизонтали, систему двух транспортирующих конвейеров 6 и 7, у которых рабочие поверхности находятся в плоскости стола 3, и одного выравнивающего конвейера 8, установленного перпендикулярно столу 3. При этом, несмотря на усложнение конструкции машины, очесывающий аппарат должен быть выполнен с возможностью перемещения в направлении наклона γ стола 3.

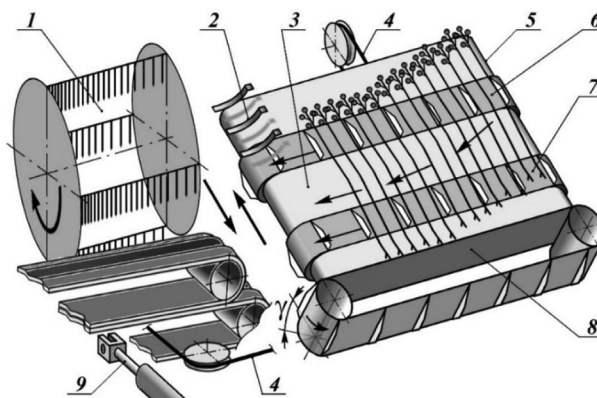


Рис. 4. Схема и принцип работы ориентирующего устройства.

В основу работы устройства 5 положено смещение стеблевой массы под воздействием силы тяжести в направлении наклона γ стола 3. Величина смещения зависит от случайных колебаний ординат процесса $y_{г}(t)$ и ограничена рабочей поверхностью конвейера 8. Таким образом выполняется фильтрация указанных колебаний и положение ленты льна относительно очесывающего аппарата стабилизируется. Процесс стабилизации происходит во время передачи стеблей конвейерами 6 и 7 от подбирающего рабочего органа (на рисунке не показан) к очесывающему аппарату 1.

С целью обеспечения оптимальной согласованности в пространстве зон $B_{л}$ и $B_{аз}$ при изменении длины Δl растительного выравнивающего конвейера 8 и очесывающий аппарат 1 должны перемещаться один относительно другого в противоположные стороны в направлении осей стеблей, каждый на величину $\Delta l/2$. Для этого указанные рабочие органы имеют кинематическую связь в виде тросовой системы 4 и гидроцилиндр 9, управляемый механизатором. Такая конструкция обуславливает необходимость подбора ленты растений льна с копированием ординат ее средней части. Для автоматизации указанных перемещений, повышения их точности и снижения утомляемости механизатора целесообразно оснащать машину системой автоматического управления [20]. При этом шупы 2 и управляемые ими контакты автоматической системы установлены на раме очесывающего аппарата 1.

Кроме того, при реализации первой фазы технологии двухфазной уборки следует уделять особое внимание формированию прямолинейных лент растений, что будет способствовать повышению точности их копирования и увеличению производительности подборщика-очесывателя. Для этого целесообразно использовать тербилки, способные выполнять принудительный растил ленты растений.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что чистота очеса \mathcal{C} семенных коробочек со стеблей, зависит от параметров очесывающего аппарата, структурных параметров подбираемой ленты

растений и от ее расположения относительно гребней аппарата. Последний фактор обусловлен ошибками копирования ленты растений подбирающим аппаратом в горизонтальной плоскости. У подборщика-очесывателя с неподвижным очесывающим аппаратом чистота очеса в основном не будет отвечать агротребованиям из-за рассогласования в пространстве технологических зон B_{az} и B_{a7} , следствие случайных отклонений $y_0(t)$ подбирающего аппарата от ленты льна и систематической ошибки копирования ее кривизны.

Наибольшее количество семян будет отделено от стеблей при совпадении ординат середины активной зоны очесывающего аппарата и центра рассеивания количества семенных коробочек по зоне их возможного расположения на растениях в ленте. Уменьшить или исключить потери семян при работе машины можно путем исправления ошибок копирования кривизны ленты растений льна перед подачей в очесывающий аппарат путем применения разработанных усовершенствованных процессов подбора ленты растений с ориентированной ее подачей в очесывающий аппарат специальным устройством, подвижного очесывающего аппарата и системы автоматического управления взаимным расположением рабочих органов. Для уменьшения ошибок копирования следует также формировать прямолинейные ленты растений при реализации первой фазы технологии двухфазной уборки с помощью теребилок, способных выполнять принудительный расстил ленты.

Использование предложенных усовершенствованных технологических процессов и технических решений в комплексе позволит исключить отрицательное влияние случайного характера входных процессов на результаты очеса семенных коробочек и увеличить сбор семян при двухфазной уборке льна-долгунца.

Литература.

1. Основные проблемы научного обеспечения льноводства / Р.А. Ростовцев, В.Г. Черников, И.В. Ущановский и др. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т.14. №3. С. 45–52.
2. Dudarev I. A Review of Fibre Flax Harvesting: Conditions, Technologies, Processes and Machines // *Journal of Natural Fibers*. 2020. No. 12-22. P. 1–13.
3. Галкин А.В., Фадеев Д.Г., Ущановский И.В. Исследование качественных характеристик льноволокна в зависимости от конструкции очесывающего аппарата // *Вестник Мордовского университета*. 2018. Т.28, №3. С.389–399.
4. Поздняков Б.А. Актуальные направления совершенствования системы машин для уборки льна-долгунца // *Техника и оборудование для села*. 2019. №8 (266). С. 2–6.
5. Dudarev I., Say V. Development of Resource-Saving Technology of Linseed Harvesting // *Journal of Natural Fibers*. 2020. Vol. 17. No. 9. P. 1307–1316.
6. Зинцов А.Н. *Обоснование и разработка процессов и машин для отдельной уборки льна-долгунца: дис....д-ра техн. наук*. М., 2008. 288 с.
7. Ростовцев Р.А., Черников В.Г. *Приоритеты в механизации современного льноводства // Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2016. № 5. С. 2–4.
8. Ковалев М.М., Перов Г.А., Просолов С.В. *Анализ работы делителей в трудных условиях уборки // Техника и оборудование для села*. 2020. №11 (281). С. 20–24.
9. *Снижение потерь семян в льнокомбайне / Р.А. Ростовцев, М.М. Ковалев, Д.Г. Фадеев и др. // Техника и оборудование для села*. 2017. № 7. С. 20–23.
10. Хайлис Г.А. *Теория льноуборочных машин*. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 322 с.
11. Черников В.Г., Порфирьев С.Г., Ростовцев Р.А. *Очесывающие аппараты льноуборочных машин (теория, конструкция, расчет): монография*. М.: «Издательство ВИМ», 2004. 240 с.
12. Шевчук В.В. Динамічна модель взаємодії вальцового робочого органа з насінням олійних культур // *Сільськогосподарські машини: сб. наук. ст. Луцьк: РВВ Луцького НТУ*, 2015. вип. 31. С. 174–182.
13. Зинцов А.Н., Смирнов Н.А., Соколов В.Н. *Машины для отдельной уборки льна-долгунца. Подборщик – очесыватель ПОЛ-1,5К // Достижения науки и техники АПК*. 2007. № 7. С. 46–47.
14. Лурье А.Б. *Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / 2-е изд. перераб. и доп.* М.: Колос, 1981. 382 с.
15. *Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления / под общ. ред. А.Б. Лурье*. Л.: «Колос». Ленингр. отд-ние, 1979. 312 с.
16. Черников В.Г. *Потери семян в зависимости от точности подачи ленты льна в камеру очеса // Достижения науки и техники АПК*. 2007. №4. С. 14-16.
17. Горлач Б.А. *Теория вероятностей и математическая статистика: учебн. пособие для вузов*. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 320 с.
18. Рагрин Н. *Математическая обработка экспериментальных данных*. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 618с.
19. Пат. 2141191 Российская Федерация, МКИ А01D 45/06 (1995.01). *Машина для отдельной уборки льна-долгунца / Н.А. Смирнов, В.А. Рожнов, М.М. Ковалев и др.; заявитель и патентообладатель Костр. гос. с.-х. акад., Центр. науч.-исслед., проектно-технол., конструкторский ин-т механиз. льноводства; № 98104372/13; заявл. 17.02.1988; опубл. 20.11.1999, Бюл. №32.*
20. Пат. 2193301 Российская Федерация, МПК А01D 45/06 (2000.01). *Устройство для принудительного расстила ленты к льноуборочным машинам / В.В. Зубанов, А.Н. Зинцов, М.М. Ковалев и др.; заявитель и патентообладатель Костр. гос. с.-х. акад.; № 99115863/13; заявл. 19.07.1999; опубл. 27.11.2002, Бюл. №33.*

Поступила в редакцию 15.11.2021.

После доработки 19.12.2021

Принята к публикации 14.01.2022