

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629872>

Оригинальное исследование



Исследование процесса ориентирования ленты льна в льноуборочных машинах

А.Н. Зинцов¹, М.М. Ковалев², Г.А. Перов²¹ Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Российская Федерация;² Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Важной особенностью льна-долгунца является существенная разница в сроках формирования волокна и созревания семян. Поэтому для получения наибольшего эффекта от обоих видов продукции необходим разрыв во времени между тереблением растений и отделением от них семян. Реализовать указанное требование позволяет применение технологии двухфазной уборки льна, в которой вторая фаза является наиболее зависимой от погодных условий и отвечает за подбор подсушенных растений и отделение от них семян. В российских условиях эта операция наиболее эффективно выполняется подборщиками-очёсывателями с гребневыми очёсывающими аппаратами, которые надёжно работают на льне любой спелости и влажности. Однако качество работы таких аппаратов заметно снижается при случайных отклонениях подборщика в сторону комлевой или вершинной частей ленты растений. Для исправления ошибок копирования подбираемой ленты перед подачей её в очёсывающий аппарат целесообразно применять ориентирующее устройство, выполненное в виде наклонного стола с конвейерами, обеспечивающее смещение растений в направлении наклона стола под неуправляемым и кратковременным воздействием силы тяжести. Поэтому указанный процесс нуждается в дальнейшем исследовании.

Цель работы — обоснование параметров ориентирующего устройства для исправления ошибок горизонтального копирования ленты льна подбирающим аппаратом льноуборочной машины.

Материалы и методы. Исследование процесса смещения растений в ориентирующем устройстве выполнены в стационарных условиях с применением экспериментальной лабораторной установки. При этом определялась величина смещения ленты льна под действием силы тяжести стеблей по наклонному столу ориентирующего устройства в зависимости от угла наклона стола, скорости его конвейеров и влажности растительной массы.

Результаты. Результаты проведенных исследований адекватно констатируют способность ориентирующего устройства эффективно исправлять последствия случайных отклонений подборщика от ленты растений перед подачей её в очёсывающий аппарат. Обозначенный эффект будет обеспечен при длине наклонного стола 1 м, скорости конвейеров 2 м/с и наклоне стола 60°. Незначительное влияние влажности растений на работу ориентирующего устройства в комбинации с гребневым очёсывающим аппаратом в конструкции подборщика-очёсывателя позволит снизить зависимость двухфазной уборки льна-долгунца от погодных условий.

Заключение. Полученные результаты наглядно показывают целесообразность применения ориентирующего устройства для исправления ошибок горизонтального копирования ленты льна подбирающим аппаратом льноуборочной машины. Результаты исследований были использованы при создании опытных образцов подборщика-очёсывателя лент льна ПОЛ-1,5К, который проходил проверку в производственных условиях на полях льносеющих хозяйств.

Ключевые слова: лен-долгунец; растения; стебли; ориентирующее устройство; смещение; скорость; угол наклона; влажность.

Как цитировать:

Зинцов А.Н., Ковалев М.М., Перов Г.А. Исследование процесса ориентирования ленты льна в льноуборочных машинах // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 5. С. 562–571. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629872>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629872>

Original Study Article

The study of the process of orientation of the flax strip in flax harvesters

Alexander N. Zintsov¹, Mikhail M. Kovalev², Gennady A. Perov²

¹ Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russian Federation;

² Federal Research Center for Fiber Crops, Tver, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: An important feature of fiber flax is a significant difference in the timing of fiber formation and seed maturation. Therefore, in order to obtain the greatest effect from both types of products, a time gap between the cultivation of plants and the separation of seeds from them is necessary. The use of the two-phase flax harvesting technology, in which the second phase is most dependent on weather conditions and is responsible for the selection of dried plants and the separation of seeds from them, will make it possible to satisfy this requirement. In Russian conditions, this operation is most effectively performed by combing pickers with combing machines that reliably work with flax of any ripeness and moisture. However, the quality of operation of such devices is noticeably reduced with accidental deviations of the picker towards butt or vertex parts of the plant ribbon. To eliminate errors of the harvested strip copying before feeding it to the combing unit, it is advisable to use an orienting device made as an inclined table with conveyors, which ensures the displacement of plants in the direction of the tilt of the table under the uncontrolled and short-term influence of gravity. Therefore, this process needs further investigation.

AIM: Justification of the parameters of the orienting device for correcting errors in horizontal copying of the flax strip by the picking machine of the flax harvester.

METHODS: Studies of the process of plants displacement in the orienting device were carried out in stationary conditions using the experimental laboratory unit. At the same time, the amount of displacement of the flax strip under the action of gravity of the stems along the inclined table of the orienting device was determined depending on the table inclination angle, the speed of its conveyors and the moisture content of the plant mass.

RESULTS: The results of the conducted studies adequately state the ability of the orienting device to effectively correct the consequences of accidental deviations of the picker from the plant strip before feeding it to the combing device. The indicated effect will be ensured with a length of an inclined table of 1 m, a conveyor speed of 2 m/s and a tilt of the table of 60°. A slight influence of plant moisture on the operation of the orienting device in combination with a combing device in the design of the comb picker will reduce the dependence of the two-phase flax harvesting on weather conditions.

CONCLUSION: The results obtained clearly show the expediency of using the orienting device to correct errors in horizontal copying of a flax strip by a flax harvesting machine. The study results were used to create the prototypes of the POL-1.5K flax strip combing picker, which was tested in production conditions in the fields of flax farms.

Keywords: flax; plants; stems; orienting device; displacement; speed; angle of inclination; humidity.

To cite this article:

Zintsov AN, Kovalev MM, Perov GA. The study of the process of orientation of the flax strip in flax harvesters. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(5):562–571. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-629872>

Received: 02.04.2024

Accepted: 18.11.2024

Published online: 03.12.2024

ВВЕДЕНИЕ

Возделывание льна-долгунца во всем мире нацелено на производство волокнистого сырья для текстильной отрасли лёгкой промышленности [1]. Льняные семена также являются ценной продукцией и широко востребованы в пищевой промышленности, медицине, косметологии и многих других сферах деятельности человека. Важной особенностью вегетации этой сельскохозяйственной культуры является существенная разница в сроках формирования волокна и созревания семян (10...12 дней). Поэтому для обеспечения наибольшего экономического эффекта путем получения обоих видов продукции высокого качества необходимо организовать технологический разрыв между тереблением растений и отделением от них семян [2]. Реализовать указанное требование позволит применение двухфазной (раздельной) уборки льна. При этом первую фазу уборочной технологии необходимо производить в конце зелёной и начале ранней жёлтой спелости растений, когда волокно обладает наивысшим качеством. Вторая, самая ответственная и самая сложная фаза уборки выполняется после дозревания семян на растениях, разостланных в ленты для естественной подсушки, и отвечает за отделение от стеблей и сбор семенной части урожая. Высокая ответственность указанной операции состоит также в её зависимости от количества и продолжительности осадков в период уборки. Поэтому в российских условиях для реализации второй фазы уборки лучше всего подходят подборщики-очёсыватели с гребневыми очёсывающими аппаратами, способными надёжно выполнять технологический процесс с растениями любой спелости и влажности. Известно также [3–5], что качество работы гребневых аппаратов применительно к льноподборщикам во многом зависит от величины ошибок горизонтального копирования ленты растений при её подборе с поверхности льнища. Случайные отклонения

подбирающего аппарата в сторону вершинной части ленты растений вызовут потери семян от недоочёса, а подбор ленты за комлевую часть увеличит отход стеблей в путанину. Указанные отклонения характеризуются систематическими ошибками, значения которых изменяются в пределах $m_{\Delta} = \pm 0,11$ м [6, 7]. Отклонения подборщика в сторону вершин имеют знак плюс, а в сторону комлевой части — минус. С учетом обозначенной проблемы в Костромской ГСХА при участии ФНЦ ЛК был разработан подборщик-очёсыватель с устройством для ориентирования ленты льна наклонного типа (далее — ориентирующее устройство), предназначенным для исправления ошибок копирования ленты растений перед подачей ее в очёсывающий аппарат (рис. 1) [8]. Ориентирующее устройство 2 расположено между подбирающей частью 1 машины и очёсывающим аппаратом 3 гребневого типа.

Ориентирующее устройство представляет собой стол 1 с комлевым 3 и вершинным 2 конвейерами (рис. 2), расположенными в одной плоскости под наклоном γ к горизонту. Конвейер 4 является ограничительным, и его рабочая поверхность перпендикулярна плоскости стола 1. Причём конвейер 4 конструктивно объединен подвижной рамной конструкцией с комлевым конвейером 3 со способностью их совместного перемещения в направлении осей стеблей при изменении длины последних.

Основными управляющими воздействиями на процесс исправления ошибок копирования являются смещения растений в направлении наклона стола 1 в сторону вершинной части ленты (вверх) и или в сторону комлей (вниз). В обоих случаях указанный процесс должен полностью завершиться за время нахождения ленты льна в ориентирующем устройстве. Смещение растений вниз на величину $-m_{\Delta}$ происходит под воздействием силы тяжести и ограничено рабочей поверхностью конвейера 4. Сдвигание ленты льна в сторону вершин осуществляется принудительным



Рис. 1. Подборщик-очёсыватель лент льна: *a* — вид спереди; *b* — вид на ориентирующее устройство: 1 — подборщик; 2 — ориентирующее устройство; 3 — очёсывающий аппарат.

Fig. 1. A combing picker of flax strips: *a* — front view; *b* — view of the orienting device: 1 — the picker; 2 — the orienting device; 3 — the combing device.

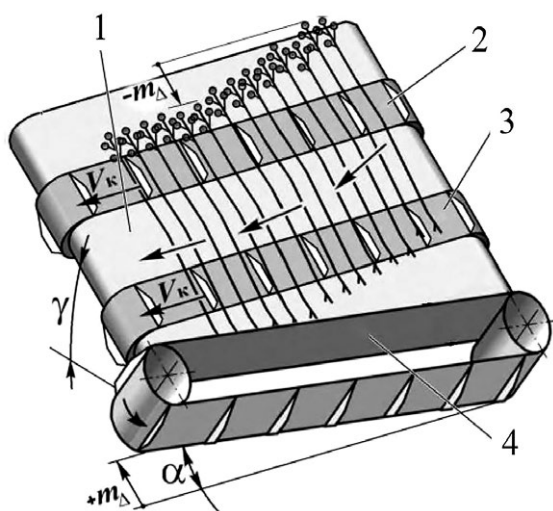


Рис. 2. Ориентирующее устройство: 1 — стол; 2 — вершинный конвейер; 3 — комлевой конвейер; 4 — ограничительный конвейер.

Fig. 2. The orienting device: 1 — a table; 2 — a vertex conveyor; 3 — a butt conveyor; 4 — a restrictive conveyor.

образом тем же конвейером 4, ограничительная поверхность которого выполнена под углом α с подъемом на выходе из ориентирующего устройства на величину $+m_{\Delta}$ относительно его входа. Смещение ленты вниз необходимо для исправления отрицательных отклонений подборщика в сторону её комлевой части, а вверх — при положительных отклонениях в сторону вершин. Причем возможность сдвигания ленты растений вверх сомнений не вызывает из-за несоизмеримо большего значения силы воздействия рабочей поверхности конвейера 4 в сравнении с суммарным значением сил, возникающих в местах контакта стеблей со столом 1 и конвейерами 2 и 3 [9–11]. Напротив, смещение ленты льна вниз является неуправляемым процессом, происходящим за очень короткий промежуток времени под воздействием ряда случайных факторов. Поэтому указанный процесс нуждается в экспериментальном исследовании и обосновании.

Цель работы — обоснование параметров ориентирующего устройства для исправления ошибок горизонтального копирования ленты льна подбирающим аппаратом льноуборочной машины.

Для достижений поставленной цели необходимо определить зависимость величины смещения ленты льна под действием силы тяжести по наклонному столу ориентирующего устройства от параметров, режимов и условий его работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Программа исследований была реализована в лабораторных условиях с применением экспериментальной установки, состоящей из ориентирующего устройства с подбирающей частью, установленного на винтовых

опорах, питающего ленточного конвейера, имитирующего поверхность поля, системы привода и управления. Система привода включала в себя асинхронные электродвигатели переменного тока, клиноременные и цепные передачи. Для оценки всех возможных смещений ленты льна ориентирующее устройство было выполнено без ограничительного конвейера. Фиксацию значений исследуемого процесса выполняли путём видеозаписи с последующим просмотром в режиме кадрового воспроизведения. Для этого напротив ориентирующего устройства закрепили на штативе видеокамеру, а на поверхности стола нанесли шкалу с горизонтальными делениями.

Объектом исследования являлся процесс смещения ленты стеблей льна под действием силы тяжести по наклонному столу в ориентирующем устройстве подборщика-очёсывателя. В качестве предмета исследования выступали угол наклона стола ориентирующего устройства — γ , скорость комлевого и вершинного конвейеров — V_k , влажность растительной массы — W . Перед проведением основного эксперимента была проведена серия поисковых опытов, в которых длина конвейеров ориентирующего устройства варьировалась от 0,85 м до 1,15 м. С учетом полученных результатов и габаритного размера льноуборочного агрегата в дальнейших исследованиях длина конвейеров принята равной 1,0 м. Размеры факторного пространства указанных параметров выбраны с учетом особенностей конструкции, условий и режимов работы подборщика-очёсывателя (табл. 1).

Целевой функцией являлось смещение Δ ленты льна в направлении наклона стола в виде разницы ординат вершинной части растений на входе и выходе ориентирующего устройства.

Программа экспериментальных исследований была реализована с применением плана 2-го порядка Бокса-Бенкина [12].

Управление наклоном γ стола выполняли с помощью двух винтовых опор, расположенных под рамой ориентирующего устройства. Контроль значений этого фактора осуществляли электронным угломером SKATA Inclinomater (рис. 3).

Варьирование скоростью конвейеров V_k осуществляли путём изменения преобразователем частоты Веспер Е4-8400 числа оборотов электродвигателя привода ориентирующего устройства (см. рис. 3).

Ленты льна для опытов формировали из растений, вытербленных в стадии ранней желтой спелости льнокомбайном ЛК-4А с отключенным очёсывающим аппаратом. Для имитации условий проведения второй фазы раздельной уборки растения в лентах подсушивали на льнице в естественных условиях в течение семи дней. После подсушки и дозревания семян полученные ленты льна пятиметровыми отрезками заворачивали в рулоны с прокладыванием между слоями влагопрочной бумаги марки «ВПМ». Окончательная подсушка растений производилась в лентах, развернутых в сухом закрытом помещении.

Таблица 1. Основные координаты факторного пространства**Table 1.** The main coordinates of the factor space

Значение факторов в натуральном виде The importance of factors in their natural form			Значение факторов в кодированном виде The value of the factors in encoded form		
скорость комлевого и вершинного конвейеров — V_k , м/с the speed of the loop and vertex conveyors is V_k , m/s	угол наклона стола ориентирующего устройства — γ , ° the angle of inclination of the table of the orientation device is γ , °	влажность растительной массы — W , % moisture content of the plant mass — W , %	X_1	X_2	X_3
1,5	45,0	12,0	Нижний уровень (-1) Lower level (-1)		
2,0	55,0	37,0	Основной уровень (0) Main level (0)		
2,5	65,0	62,0	Верхний уровень (+1) Upper level (+1)		
0,5	10,0	25,0	Интервал варьирования (X_i) Variation interval (X_i)		



Рис. 3. Приборы для проведения исследований: *a* — электронный угломер; *b* — преобразователь частоты; *c* — минимойка Kärcher.
Fig. 3. Devices for conducting studies: *a* — an electronic inclinometer; *b* — a frequency converter; *c* — a Kärcher mini-washer.

Для управления влажностью растений отрезки ленты льна равномерно смачивали водой при помощи минимойки Kärcher OC 3 Battery Power 18V (см. рис. 3) с производительностью подачи воды 120 л/ч (33,3 мл/с) и вновь заворачивали в рулон на один час для пропитки растений свободной влагой. Количество воды, необходимое для пропитки растений и создания необходимых по плану эксперимента уровней влажности вычисляли с учётом результатов предварительного опыта, выполненного путем увлажнения контрольного отрезка ленты сухого льна:

$$Q_3 = Q_k \cdot \frac{W_3 \cdot m_3}{W_k \cdot m_k}, \quad (1)$$

где Q_k — масса контрольного объема воды, кг; W_3 — влажность растений по плану эксперимента, %; m_3 — масса экспериментального отрезка ленты сухих растений льна, кг; W_k — влажность растений в контрольном отрезке увлажненной ленты, %; m_k — масса контрольного отрезка исходной ленты сухих растений, кг.

Для каждого опыта рулон ленты растений, увлажнённых в соответствии с планом эксперимента, разворачивали на питающем конвейере лабораторной установки. Далее последовательно включали привод ориентирующего устройства с подбирающей частью и привод питающего конвейера. При этом подбирающий барабан принимал ленту растений с питающего конвейера и подавал её на вход ориентирующего устройства. Лопатки комлевого и вершинного конвейеров захватывали стебли и перемещали их вдоль шкалы на поверхности стола. По этой шкале путем видеозаписи фиксировали значения ординат вершинной части ленты растений на входе и выходе ориентирующего устройства. По разности средних значений входных и выходных ординат рассчитывали величину смещения:

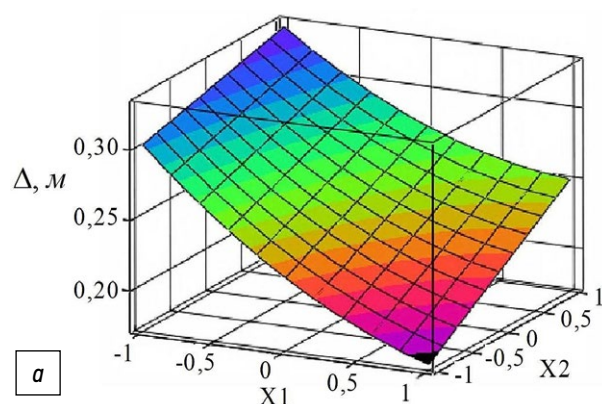
$$\Delta = \bar{y}_{\text{вход}} - \bar{y}_{\text{выход}}. \quad (2)$$

Один из вариантов исследуемого процесса представлен на рис. 4.



Рис. 4. Смещение Δ ленты льна в направлении наклона стола.
Fig. 4. The flux strip displacement Δ in the direction of the tilt of the table.

Полученные значения обрабатывали методом множественного регрессионного анализа на ПЭВМ с применением программы STATGRAPHICS Plus 5 [13].



РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате компьютерной обработки получена математическая модель в виде полинома второй степени, адекватно описывающая исследуемый процесс в кодированных пределах факторного пространства:

$$\Delta = 26,5 - 5,22 \cdot V_k + 2,27 \cdot \gamma - 0,8 \cdot W + 1,65 \cdot V_k^2 - 0,9 \cdot W^2 + 1,2 \cdot V_k \cdot \gamma \quad (3)$$

Для регрессионной модели (3) построили поверхности отклика и их двумерные сечения, соответствующие пересечению пространственной фигуры с плоскостями [14, 15], показанные на рис. 5–7.

Наибольший вес в полученной модели имеет скорость V_k конвейеров. На рис. 5 критерий оптимизации Δ с параметрами оптимизации $\Delta = f(V_k; \gamma; W = 1)$

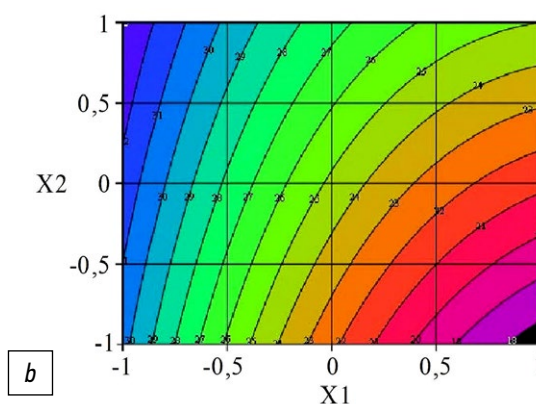


Рис. 5. Графическое место точек для зависимости $\Delta = f(X1; X2; X3 = 1) \rightarrow \max$: *a* — поверхность отклика; *b* — её двумерное сечение.

Fig. 5. Graphical location of the points for the dependence $\Delta = f(X1; X2; X3 = 1) \rightarrow \max$: *a* — the response surface; *b* — its two-dimensional section.

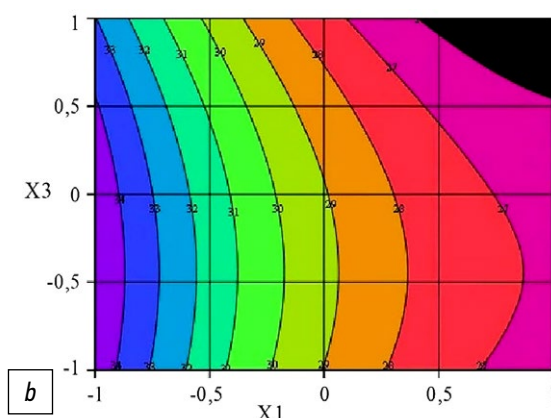
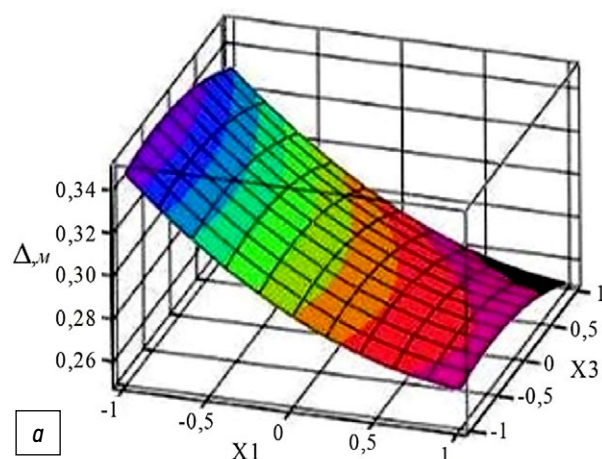


Рис. 6. Графическое место точек для зависимости $\Delta = f(X1; X3; X2 = 1) \rightarrow \max$: *a* — поверхность отклика; *b* — её двумерное сечение..

Fig. 6. Graphical location of the points for the dependence $\Delta = f(X1; X3; X2 = 1) \rightarrow \max$: *a* — the response surface; *b* — its two-dimensional section..

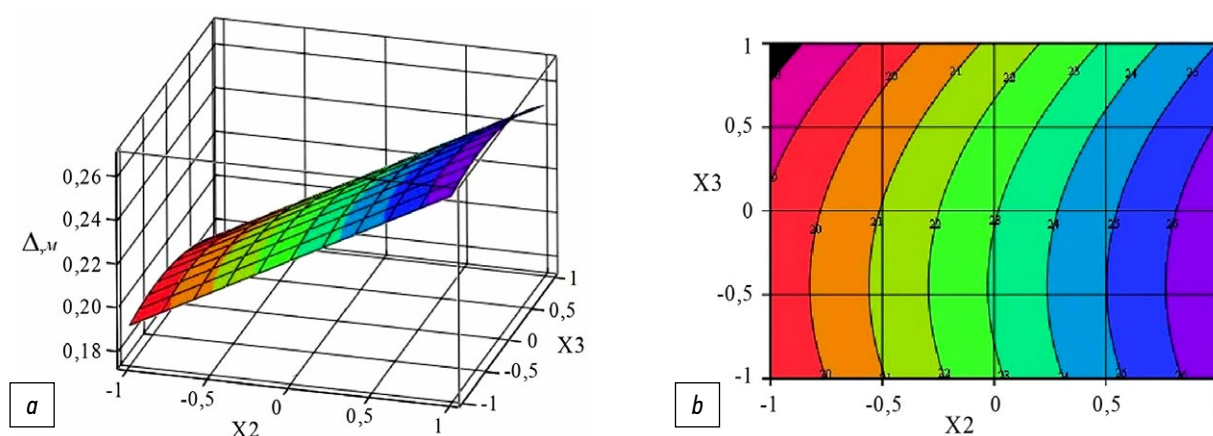


Рис. 7. Графическое место точек для зависимости $\Delta = f(X_2; X_3; X_1 = 1) \rightarrow \max$: *a* — поверхность отклика; *b* — её двумерное сечение.

Fig. 7. Graphical location of the points for the dependence $\Delta = f(X_2; X_3; X_1 = 1) \rightarrow \max$: *a* — the response surface; *b* — its two-dimensional section..

указывает на то, что максимальный эффект $\Delta_{\max} = 0,34$ м достигается при минимальной скорости конвейеров $V_k = 1,5$ м/с и наибольшем наклоне стола $\gamma = 65^\circ$. Причем значительная реакция полученной модели на изменение скорости V_k сохраняется во всем диапазоне наклонов стола $45^\circ \leq \gamma \leq 65^\circ$.

При визуальном анализе другого критерия (рис. 6) с параметрами оптимизации $\Delta = f(V_k; W; \gamma = 1)$, также отчетливо выделяется доминанта скорости конвейеров в математической модели (3). Доминирующее влияние этого фактора обусловлено обратно пропорциональным увеличением длительности исследуемого процесса, то есть времени движения ленты льна в ориентирующем устройстве.

Второе место по значимости факторов в уравнении (3) занимает угол γ наклона стола (см. рис. 5 и рис. 7). Существенное влияние этого фактора объясняется тем, что при увеличении угла γ наклона к горизонту уменьшается сила трения стеблей по столу, препятствующая смещению растений пропорционально $\cos \gamma$, и одновременно с этим возрастает пропорционально $\sin \gamma$ составляющая силы тяжести, способствующая перемещению стеблей в направлении наклона стола.

Самые низкие коэффициенты регрессии в полученной модели имеют влажность W льна и её квадратичное взаимодействие W^2 . Однако результаты сравнения этих коэффициентов с табличными значениями критерия Стьюдента не позволили исключить указанный фактор из уравнения (3). При этом влияние влажности растений на величину их смещения находится в диапазоне всего лишь 0,01...0,02 м (см. рис. 6, 7). Слабость такого эффекта объясняется тем, что средние значения углов динамического трения стеблей льна с различной влажностью по стали $\varphi_0 = 16,2...33,2^\circ$ [16] находятся более, чем в два раза ниже факторного пространства углов наклона стола γ , равного $45...65^\circ$.

Из сказанного следует, что для максимального смещения ленты льна под действием силы тяжести в ориентирующем устройстве необходимо снижать скорость его транспортирующих конвейеров и увеличивать угол наклона стола в рамках факторного пространства. Однако предельные уровни варьирования могут вызвать дестабилизацию технологического процесса. Поэтому выбор конкретных значений указанных параметров должен основываться также и на обеспечении высокой технологической надёжности отдельных рабочих органов и всей машины в целом.

Для реализации указанного требования применительно к первому параметру необходимо избегать больших перепадов скоростей рабочих органов в переходных зонах между последовательно расположенными элементами машины. В частности, в подборщике-очесывателе ориентирующее устройство установлено между подбирающей частью и очесывающим аппаратом. При этом скорость ремней подбирающей части равна скорости агрегата $V_{\text{агр.}} \approx 2,5$ м/с, а скорость ремней зажимного транспортера очесывающего аппарата составляет $V_{\text{з.т.}} = 1,54$ м/с. Тогда для минимизации скоростных перепадов путем их выравнивания на входе и выходе ориентирующего устройства следует принять скорость его конвейеров, равную $V_k = 2,0$ м/с.

Предельное значение второго параметра ограничено условием «незаваливания» стеблевой массы в ориентирующем устройстве [17]. Поэтому угол наклона стола не должен превышать $\gamma = 60^\circ$.

Значения аппликат Δ всех точек с координатами $V_k = 2,0$ м/с и $\gamma = 60^\circ$ на рис. 5, 6 и 7 свидетельствуют о гарантии исправления ошибок горизонтального копирования подбираемых лент, вызванных случайными отклонениями подборщика в сторону комлевой части.

Важным обстоятельством является также и то, что влияние влажности льна на процесс ориентирования массы

стеблей оказалось малозначительным. Из сказанного следует, что ориентирующее устройство будет выполнять свои функции как на сухом, так и на влажном льне, а его комбинация с гребневым очесывающим аппаратом в конструкции подборщика-очесывателя позволит снизить зависимость второй фазы и всей технологии двухфазной уборки от погодных условий.

Высокая эффективность ориентирующего устройства была также установлена в результате корреляционно-спектрального анализа его работы в производственных условиях на подборщике-очесывателе ПОЛ-1,5К [10, 11].

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В российских условиях для реализации второй фазы уборки лучше всего соответствуют подборщики-очесыватели с гребневыми очесывающими аппаратами, надежно функционирующими на льне любой спелости и влажности. Однако качество работы таких аппаратов заметно снижается при случайных отклонениях подборщика от центра тяжести неочесанной ленты стеблей.

Получена математическая модель (3), при анализе которой определены параметры ориентирующего устройства, эффективно исправляющего ошибки горизонтального копирования подбираемой ленты льна перед подачей ее в очесывающий аппарат. Обозначенный эффект будет обеспечен при скорости конвейеров 2 м/с, наклоне стола 60° и его длине 1 м. Малое влияние влажности растений на эффективное функционирование ориентирующего устройства в комбинации с гребневым очесывающим аппаратом в конструкции подборщика-очесывателя позволит существенно снизить зависимость двухфазной технологии уборки льна-долгунца от погодных условий.

При проектировании льноуборочных технических средств для исправления ошибок копирования подбираемой ленты стеблей перед подачей ее в очесывающий аппарат необходимо применять ориентирующее устройство, представляющее собой стол с конвейерами, расположенными в одной плоскости под наклоном γ к горизонту с принципом действия устройства, основанном на смещении ленты стеблей в направлении наклона стола под неуправляемым и кратковременным воздействием их силы тяжести.

По результатам исследований были созданы макетные образцы подборщика-очесывателя лент льна ПОЛ-1,5К, которые проходили проверку в производственных условиях на полях льносеющих хозяйств Тверской, Костромской и Ярославской областей. В общей сложности машиностроительными предприятиями этих областей было выпущено 60 подборщиков-очесывателей ПОЛ-1,5К и ПОЛ-1,5. По данным государственных испытаний на Калининской МИС производительность подборщика-очесывателя

ПОЛ-1,5К в разные годы составляла 0,95...1,2 га/час, а машины ПОЛ-1,5 0,86...1,02 га/час основного времени, чистота очёса семенных коробочек соответственно 98,6...99,8% и 97,9...98,4%, при отходе стеблей в путанину 0,52...1,74% и 0,8...2,3%.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Н. Зинцов — формулирование концепции решения, постановка задачи, подготовка начального текста с последующей доработкой, проведение исследований, анализ результатов, визуализация; М.М. Ковалев — научное руководство, подготовка начального текста с последующей доработкой, проведение критического анализа исследований, визуализация, утверждение финальной версии; Г.А. Перов — определение методологии исследования, сбор и анализ материалов по теме исследования, проведение исследований и обработка экспериментальных данных, доработка текста. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. A.N. Zintsov — formulation of the solution concept, problem statement, preparation of the initial text with subsequent revision, study conducting, analysis of results, visualization; M.M. Kovalev — scientific guidance, preparation of the initial text with subsequent revision, conducting a critical analysis of research, visualization, approval of the final version; G.A. Perov — definition of the study methodology, collection and analysis of materials on the research topic, study conducting and processing of experimental data, revision of the text. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare the absence of obvious conflicts of interests related to the publication of this article.

Funding source. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Assignment of the Federal Scientific Center for Fiber Crops (No. FGSS-2022-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В. Лубяные культуры в России и за рубежом: состояние, проблемы и перспективы их переработки // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 1. С. 30–40. doi: 10.54016/SVITOK.2021.1.1.005
2. Ковалев М.М., Колчина Л.М. Технологии и оборудование для производства и первичной переработки льна и конопли: справочник. М.: Росинформагротех, 2013.
3. Ковалев М.М. Анализ динамики гребневых очёсывающе-транспортирующих барабанов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2013. № 4. С. 2–4.
4. Лачуга Ю.Ф., Зинцов А.Н., Ковалев М.М., и др. Научные аспекты повышения эффективности процессов очёса семенных коробочек при двухфазной уборке льна-долгунца // Российская сельскохозяйственная наука. 2022, № 1. С. 53–58. doi: 10.31857/S2500262722010094
5. Lachuga Yu.F., Zintsov A.N., Kovalev M.M., et al. Scientific Aspects of Improving the Efficiency of Seedpod Combing Processes in Two-Phase Harvesting of Flax // Russian Agricultural Sciences. 2022. Vol. 48, N. 2. P. 98–104. doi: 10.3103/S1068367422020100
6. Зинцов А.Н. Ошибки копирования ленты стеблей льна-долгунца прицепными подборщиками // Вестник АПК Верхневолжья. 2017. № 2. С. 84–87.
7. Лобачев А.А., Трофимов М.А., Смирнов С.В., и др. Определение ошибок копирования сдвоенного валка подбирающим аппаратом пресс-подборщика // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 3. С. 129–136. doi: 10.35523/2307-5872-2023-44-3-129-136
8. Зинцов А.Н., Смирнов Н.А., Соколов В.Н. Машины для раздельной уборки льна-долгунца. Подборщик-очёсыватель льна ПОЛ-1,5К (устройство) // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 7. С. 46–47.
9. Смирнов С.В., Трофимов М.А., Лобачев А.А., и др. Обоснование параметров и режимов работы механизма для сдвигания ленты сдваивателя льняной тресты // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 2 (39). С. 99–106 doi: 10.35523/2307-5872-2022-39-2-99-106
10. Лачуга Ю.Ф., Зинцов А.Н., Ковалев М.М., и др. Исследование процесса выравнивания ленты растений во второй фазе раздельной уборки льна-долгунца // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 6. С. 63–68. doi: 10.31857/S2500262722060126 EDN: MKUMKC
11. Lachuga Yu.F., Zintsov A.N., Kovalev M.M., et al. Investigation of the Process of Plant Swath Alignment in the Second Stage of the Fiber Flax Swath Harvesting // Russian Agricultural Sciences, 2023. Vol. 49, N. 1. P. 89–95. doi: 10.3103/S106836742301010X
12. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980.
13. Горлач Б.А. Теория вероятностей и математическая статистика. Санкт-Петербург: Лань, 2021.
14. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного статистического анализа данных. М.: Инфра-М, 2022.
15. Кулаичев А.П. Полное собрание сочинений в трех томах. Том 1. Методы и средства анализа данных в среде Windows. STADIA. М: Информатика и компьютеры, 1999.
16. Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). М.: ИК «Родник»; журнал «Аграрная наука», 1998.
17. Луценко В.М. Исследование и разработка способов улучшения качества снопов льна-долгунца машинной вязки для сдачи их на льнозаводы пригодными к дальнейшей переработке: дисс. ... канд. техн. наук. Торжок, 1970.
18. Гурвич Л.Ю., Луценко В.М. К определению оптимальных режимов работы наклонного конвейерного выравнивателя льносоломки // Сб. научн. тр. ВНИИЛ. Торжок, 1966. вып. 1. С. 111–118.

REFERENCES

1. Novikov EV, Basova NV, Bezbabchenko AV. Bast crops in Russia and abroad: state, problems and prospects of their processing. *Technical cultures. Scientific agricultural journal*. 2021;1:30–40. (In Russ.) doi: 10.54016/SVITOK.2021.1.1.005
2. Kovalev MM, Kolchina LM. *Technologies and equipment for the production and primary processing of flax and hemp*. Moscow: Rosinformagrotech; 2013. (In Russ.)
3. Kovalev MM. Analysis of the dynamics of comb combing and transporting bars. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2013;4:2–4. (In Russ.)
4. Lachuga YuF, Zintsov AN, Kovalev MM, et al. Scientific aspects of improving the efficiency of seedpod combing processes during two-phase harvesting of flax. *Russian Agricultural Science*. 2022;1:53–58. (In Russ.) doi: 10.31857/S2500262722010094
5. Lachuga YuF, Zintsov AN, Kovalev MM, et al. Scientific Aspects of Improving the Efficiency of Seedpod Combing Processes in Two-Phase Harvesting of Flax. *Russian Agricultural Sciences*. 2022;48(2):98–104. (In Russ.) doi: 10.3103/S1068367422020100
6. Zintsov AN. Errors in copying the tape of flax stalks by trailed pickers. *Bulletin of the agroindustrial complex of the Upper Volga region*. 2017;2:84–87. (In Russ.)
7. Lobachev AA, Trofimov MA, Smirnov SV, et al. Determination of copying errors of a double roll by a pick-up device of a baler. *Agrarian Bulletin of the Upper Volga region*. 2023;3:129–136. (In Russ.) doi: 10.35523/2307-5872-2023-44-3-129-136
8. Zintsov AN, Smirnov NA, Sokolov VN. Machines for separate harvesting of flax. Picker-combing flax FLOOR-1.5K (device). *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2007;7:46–47. (In Russ.)
9. Smirnov SV, Trofimov MA, Lobachev AA, et al. Substantiation of the parameters and modes of operation of the mechanism for shifting the belt of the linen tresta doubler. *Agrarian Bulletin of the Upper Volga region*. 2022;2(39):99–106. (In Russ.) doi: 10.35523/2307-5872-2022-39-2-99-106
10. Lachuga YuF, Zintsov AN, Kovalev MM, et al. Investigation of the process of straightening the ribbon of plants in the second phase of separate harvesting of flax. *Russian agricultural science*.

2022;6:63–68. (In Russ.) doi: 10.31857/S2500262722060126 EDN: MKUMKC.

11. Lachuga YuF, Zintsov AN, Kovalev MM, et al. Investigation of the Process of Plant Swath Alignment in the Second Stage of the Fiber Flax Swath Harvesting. *Russian Agricultural Sciences*. 2023;49(1):89–95. doi: 10.3103/S106836742301010X

12. Novik FS, Arsov YaB. *Optimization of metal technology processes by methods of experiment planning*. Moscow: Mashinostroenie; Sofia: Technika; 1980. (In Russ.)

13. Gorlach BA. *Probability theory and mathematical statistics*. St. Petersburg: Lan; 2021. (In Russ.)

14. Kulaichev AP. *Methods and means of complex statistical data analysis*. Moscow: Infra-M; 2022. (In Russ.)

15. Kulaichev AP. *Complete works in three volumes. Vol. 1. Methods and means of data analysis in the Windows environment. STADIA. 3rd edition, revised. and add.* Moscow: Informatika i kompyutery; 1999. (In Russ.)

16. Kovalev NG, Khailis GA, Kovalev MM. *Agricultural materials (types, composition, properties)*. Moscow: IK "Rodnik"; journal "Agrarian Science"; 1998. (In Russ.)

17. Lutsenko VM. Research and development of ways to improve the quality of machine-knitted flax sheaves for their delivery to flax mills suitable for further processing [dissertation] Torzhok; 1970. (In Russ.)

18. Gurvich LYu, Lutsenko VM. To determine the optimal modes of operation of an inclined conveyor leveler of a flax mill. *Sb. nauchn. tr. VNIIL*. Torzhok; 1966;1:111–118. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

* Ковалёв Михаил Михайлович,

д-р техн. наук,
главный научный сотрудник лаборатории Агроинженерных технологий;

адрес: Российская Федерация, 170041, Тверь,
Комсомольский пр-т, д. 17/56;
ORCID: 0000-0003-2424-4205;
eLibrary SPIN: 6189-8619;
e-mail: m.m.kovalev@mail.ru

Зинцов Александр Николаевич,

д-р техн. наук,
профессор кафедры тракторов и автомобилей;
ORCID: 0000-0003-3443-2015;
eLibrary SPIN: 2073-8846;
e-mail: zintsov_a@mail.ru

Перов Геннадий Анатольевич,

канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории Агроинженерных технологий;
ORCID: 0000-0002-5830-6817;
eLibrary SPIN: 4478-4991;
e-mail: vniiml2@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Mikhail M. Kovalev,

Dr. Sci. (Engineering),
Chief Researcher of the Agroengineering Technologies Laboratory;

address: 17/56 Komsomolskiy avenue, 170041 Tver,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0003-2424-4205;
eLibrary SPIN: 6189-8619;
e-mail: m.m.kovalev@mail.ru

Alexander N. Zintsov,

Dr. Sci. (Engineering),
Professor of the Tractors and Automobiles Department;
ORCID: 0000-0003-3443-2015;
eLibrary SPIN: 2073-8846;
e-mail: zintsov_a@mail.ru

Gennady A. Perov,

Cand. Sci (Engineering),
Leading Researcher of the Agroengineering Technologies Laboratory;
ORCID: 0000-0002-5830-6817;
eLibrary SPIN: 4478-4991;
e-mail: vniiml2@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author