



## Вероятностная модель кинематики устройства для уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте

А. Н. Зинцов<sup>1</sup>, М. М. Ковалев<sup>2\*</sup>, Г. А. Перов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Костромская ГСХА (пос. Каравеево, Российская Федерация)

<sup>2</sup> Федеральный научный центр лубяных культур  
(г. Тверь, Российская Федерация)

\* [info@fncl.ru](mailto:info@fncl.ru)

### Аннотация

**Введение.** Основная причина кризисного состояния льноводства – потери волокнистой части при ее выделении из урожая. Это происходит из-за избыточной растянутости стеблей в слое. Установлено, что уменьшать растянутость наиболее удобно в поле при оборачивании лент стеблей путем нанесения ударов по комлевой части слоя в направлении осей стеблей. В статье предложено использовать для этой цели подборщик-оборачиватель с наклонным комлеподбивателем конвейерного типа. Цель исследования – повышение эффективности процесса выравнивания лент льна путем комлеподбивания стеблей при их оборачивании.

**Материалы и методы.** Отмечено, что максимальный эффект обеспечит встречный удар в направлении осей стеблей. Для этого скорость движения комлеподбивающей поверхности относительно слоя тресты в поперечном к осям стеблей направлении должна иметь постоянное нулевое значение. Указанный режим может быть реализован конвейером с роликовыми активаторами. Отмечен случайный характер условий работы машинных агрегатов в поле, что является дополнительной помехой для обработки лент стеблей предложенным способом. Поэтому при проектировании комлеподбивателей рекомендовано использовать вероятностный и графоаналитический методы расчета.

**Результаты исследования.** С помощью графоаналитического метода получена вероятностная модель, связывающая кинематику предложенного устройства с вероятностью нанесения встречных ударов по комлям стеблей. При этом установлено, что двухроликовые активаторы в совокупности с наклоном комлеподбивающей поверхности обеспечат ярко выраженные ударные воздействия, увеличат скорость и вероятность их нанесения. Экспериментальным путем обоснованы параметры и режимы работы наклонного комлеподбивателя конвейерного типа.

**Обсуждение и заключение.** Применение предложенного способа, с учетом полученных результатов, позволит уменьшить растянутость стеблей льна в лентах на 5,6 % за одно оборачивание и выход длинного волокна на 2,5–3,0 %.

**Ключевые слова:** длинное волокно, лен, растянутость, вероятность, подборщик-оборачиватель, слой стеблей, удар, комлеподбивающая поверхность, конвейер, активатор

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

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

© Зинцов А. Н., Ковалев М. М., Перов Г. А., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

*Для цитирования:* Зинцов А. Н., Ковалев М. М., Перов Г. А. Вероятностная модель кинематики устройства для уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 126–144. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.126-144>

Original article

## Probabilistic Model of the Kinematics of the Device for Reducing Elongation of Flax Fiber Stems in the Tape

A. N. Zintsov<sup>a</sup>, M. M. Kovalev<sup>b\*</sup>, G. A. Perov<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Kostroma State Agricultural Academy (Karavaevo, Russian Federation)*

<sup>b</sup> *Federal Scientific Center for Bast Crops (Tver, Russian Federation)*

\* [info@fncl.ru](mailto:info@fncl.ru)

### Abstract

*Introduction.* The main reason for the crisis state of flax growing is the losses of the flax fiber portions when it is extracted from the crop. This is due to excessive elongation of the stems in the layer. It was found that the most convenient way to reduce elongation in the field conditions when turning over flax strips by striking the butt portions in the direction of the stems. The authors propose to use for this purpose a pickup flax turner with a conveyor-type inclined flax butting machine. The purpose of the research is to increase the efficiency of flax tapes leveling process by butting flax stems.

*Materials and Methods.* It is noted that the maximum effect will be provided by a counter-impact in the direction of the flax stems. For this purpose, the speed of motion of the butting surface relative to the retted straw transversely to the flax stems should have a constant zero value. The specified mode can be realized by a conveyor with roller activators. In the article, the random nature of the working conditions of machine units in the field was noted that is an additional obstacle for processing the flax tapes by the suggested method. Therefore, it is recommended to use probabilistic and graph-analytical methods of calculation when designing flax butting machines.

*Results.* Using the graph-analytical method, a probabilistic model linking the kinematics of the proposed device with the probability of causing counter-strikes on the flax butts was obtained. It was found that two-roller activators in combination with inclination of butting surface will provide pronounced impacts, increase speed and probability of their application. Parameters and operating modes of inclined conveyor-type butting machine were substantiated experimentally.

*Discussion and Conclusion.* Application of the proposed method, taking into account the results obtained, will reduce the elongation of flax stems in strips by 5.6% for one turning over and the yield of long fiber by 2.5–3.0%.

**Keywords:** long fiber, flax, elongation, probability, picker-turner, flax layer, impact, butting surface, conveyor, activator

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

*The authors declare no conflict of interest.*

**For citation:** Zintsov A.N., Kovalev M.M., Perov G.A. Probabilistic Model of the Kinematics of the Device for Reducing Elongation of Flax Fiber Stems in the Tape. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):126-144. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.126-144>

## Введение

Длинное волокно всегда было главным источником прибыли льноводства в стране. Лен являлся крупнейшим экспортным товаром и основой экономической жизни в России в конце XIX и в XX вв. До середины 30–40-х гг. Россия была крупнейшим экспортером льна-долгунца и производила около 80 % мирового урожая [1]. Однако в настоящее время отрасль испытывает глубокий кризис, который привел к значительному сокращению посевных площадей льна-долгунца в севооборотах сельхозпроизводителей России [2; 3]. Наблюдаются чрезмерно большие потери волокнистой части при переработке тресты на льнозаводах. В самом лучшем случае выход наиболее ценного длинного волокна составляет 10 % от массы тресты при том, что в растениях его содержится 30 % и более [4]. Такое соотношение означает, что только одна треть часть от возможного урожая используется для получения прибыли. Чаще всего отмеченные результаты становятся следствием избыточной растянутости стеблей в ленте (слое) [4; 5].

Растянутость – это продольное смещение стеблей льна друг относительно друга в их слое, сформированном при выполнении уборочных операций. Это явление считается негативным и возникает в результате целого ряда производственных факторов: использование для посева семян низких репродукций, плохое качество предпосевной обработки поля, особенности механических воздействий на стеблестой терибильных секций и других рабочих органов льноуборочных машин [6–8].

Обязательные технологические операции по приготовлению и уборке льнотресты многократно и неизбежно увеличивают указанный параметр<sup>1</sup> [9; 10]. При значительном продольном сдвиге некоторые стебли оказываются за пределами зоны действия зажимных транспортеров трепальных секций и легко выдергиваются из слоя трепальными барабанами в отходы. Поэтому для максимального выделения волокнистой части из стеблей необходимо уменьшать их растянутость в ленте<sup>2</sup> [4; 11].

Растянутость устраняют путем нанесения ударов по комлевой части слоя в направлении осей стеблей. Анализ известных способов и конструкций для реализации комлеподбивания показал, что указанную операцию можно выполнить в стационарных условиях льнозавода или в мобильных средствах механизации полевых уборочных процессов<sup>3</sup> [11]. Однако возможность эффективного комлеподбивания ограничена состоянием слоя стеблей на различных этапах уборки и первичной переработки. Наиболее благоприятным для комлеподбивания является такое состояние, при котором стебли в слое расположены параллельно друг другу, не имеют повреждений и обладают необходимой жесткостью [11]. Производственная практика показывает, что по мере выполнения механизированных уборочных операций состояние слоя постепенно ухудшается. В результате каждого механического воздействия рабочих органов льноуборочных машин стебли льна все больше повреждаются и перепутываются между собой, а жесткость их конструкции частично или

<sup>1</sup> Flax Fiber: Potential for a New Crop in the Southeast / J. A. Foulk [et al] // Proceedings of the 50<sup>th</sup> National Symposium “Trends in New Crops and New Uses: Strength in Diversity”; J. Janick, A. Whipkey (eds.). Alexandria : ASHS Press, 2002. P. 361–370. URL: <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5-361.html> (дата обращения: 12.01.2021).

<sup>2</sup> Хайліс Г. А., Пуць В. С. Аналіз процесу підбивання стебел льону за допомогою підбійки // Сільськогосподарські машини : Зб. наук. ст. Вип. 13. Луцьк : Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2005. С. 222–226. URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/issue/view/72>/ВИПУСК 13 (дата обращения: 11.01.2021).

<sup>3</sup> Там же.

полностью нарушается. Слой стеблей приобретает состояние, близкое к идеальному, в результате естественной подсушки в начальный период росяного приготовления тресты [9]. Как правило, указанный период совпадает с необходимостью первого оборачивания лент стеблей. Таким образом, указанная технологическая операция является наиболее подходящей для выполнения комлеподбивания. Однако для осуществления предложенного способа следует одновременно выполнить несколько технологических операций: подбор ленты стеблей с поверхности поля, оборачивание, комлеподбивание и возврат обработанных лент на поле для дальнейшей вылежки или формирования в рулоны. Сложность решения обозначенной задачи состоит в том, что нанесение необходимого количества ударов следует произвести в потоке за очень короткий промежуток времени при движении агрегата. Причем случайный характер условий работы машинных агрегатов в поле является дополнительной помехой для обработки лент стеблей предложенным способом [4; 12].

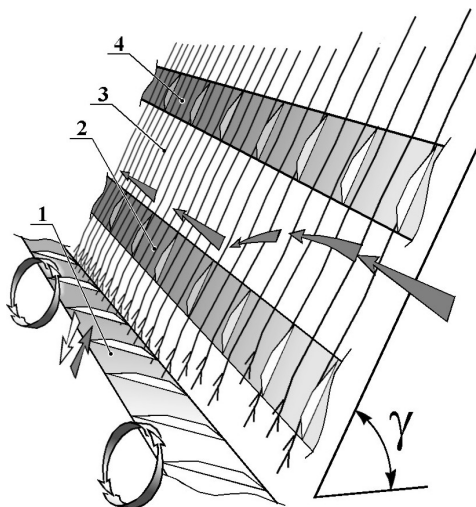
Цель исследования – повышение эффективности процесса выравнивания лент льна путем комлеподбивания стеблей при их оборачивании.

### Обзор литературы

Вопросам выравнивания ленты стеблей льна посвящено множество научных и опытно-конструкторских работ, в которых изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию параметров и режимов работы экспериментальных комлеподбивающих устройств [13–16], приведены конструкционные схемы и описаны их отличительные особенности [11; 17; 18].

Анализ этих исследований показал, что наиболее удобным для работы в вышеуказанных условиях является устройство для уменьшения

растянутости стеблей льна-долгунца в ленте в виде наклонного комлеподбивателя конвейерного типа (рис. 1).



Р и с. 1. Схема наклонного комлеподбивателя конвейерного типа: 1 – комлеподбивающая поверхность; 2 – комлевой конвейер; 3 – стебли льна; 4 – вершинный конвейер

Fig. 1. Scheme inclined conveyor for striking the butt of the stems: 1 – surface for strikes on the butt of the stems; 2 – butt conveyor; 3 – flax stalks; 4 – vertex conveyor

С учетом изложенного в Костромской ГСХА предложен оборачиватель-комлеподбиватель ОКП-1,5К, содержащий в своей конструкции указанный рабочий орган [4; 17; 18].

Принцип работы наклонного комлеподбивателя основан на смещении ленты стеблей 3 вниз под действием силы тяжести в процессе их транспортирования конвейерами 2 и 4. Смещение стеблей происходит до касания комлями поверхности 1, которая наносит по ним встречные удары.

Вследствие полученных ударов растянутость стеблей в ленте уменьшается. В такой конструкции все точки комлеподбивающей поверхности (КП) 1 во время движения имеют одинаковый вектор скорости, направление которой обусловлено вертикальной ( $V_y$ )

и горизонтальной ( $V_x$ ) составляющими. Вертикальная составляющая  $V_y$  направлена вдоль осей стеблей, а горизонтальная  $V_x$  – перпендикулярно осям стеблей [11]. Энергия удара также распределяется на две доли. Причем каждая доля пропорциональна своей составляющей вектора скорости КП. При этом одна доля энергии удара, направленная вертикально, выполняет полезную работу по сдвиганию стеблей в осевом направлении. Другая доля этой энергии, направленная горизонтально, воздействует на комлеву часть стеблей под углом  $90^\circ$ , вызывая их перекосы и повреждения. Эта часть энергии удара затрачена на выполнение вредной работы<sup>4</sup> [4; 6]. Поэтому для использования всей энергии удара с максимальным эффектом и обнуления вредной работы необходимо, чтобы в момент контакта с комлями стеблей вертикальная составляющая  $V_y$  скорости движения КП имела наибольшее значение, а горизонтальная  $V_x$  была сонаправленной и равной скорости  $V_{ст}$  транспортирования стеблевой массы конвейерами 2 и 4. Следовательно, при каждом таком воздействии скорость движения КП относительно слоя тресты в поперечном к осям стеблей направлении должна быть [4]:

$$V_{отн} = V_x - V_{ст} = 0. \quad (1)$$

Ранее проведенными исследованиями установлено, что условия производства льнопродукции в большинстве случаев характеризуются значительной неравномерностью, поэтому слой стеблей даже на одном поле может иметь существенные различия по своим структурным параметрам (растянутость, спутанность, влажность и т. д.) и степени готовности тресты<sup>5</sup> [10; 16].

Микронеровности поверхности поля вызывают всевозможные колебания стола наклонного комлеподбивателя при работе подборщика-оборачивателя. Кроме того, ошибки копирования ленты стеблей подбирающим аппаратом также случайным образом повлияют на характер поведения слоя в процессе комлеподбивания. При этом величина и продолжительность смещения стеблевой массы под действием силы тяжести, скорость первого удара и количество последующих контактов комлей с КП также не будут постоянными, что следует учитывать при разработке процесса комлеподбивания [11].

### Материалы и методы

В процессе исследования применялись методы общего и логического анализа, расчетно-конструктивный метод, методы планирования многофакторного эксперимента и проверки достоверности его результатов методами теории вероятности и математической статистики. При проектировании комлеподбивателей применены вероятностный и графоаналитический методы.

Для достижения поставленной цели необходимо изыскать пути увеличения вероятности нанесения эффективных встречных ударов по комлям растений при работе наклонного комлеподбивателя конвейерного типа (рис. 1), который позволит наиболее полно обеспечить выполнение требований условия (1).

В предложенном устройстве комлеподбивающая поверхность представляет собой рабочую ветвь конвейера с упругими свойствами плоского ремня, надетого на ведущий и ведомый цилиндрические шкивы, вращающиеся с постоянной скоростью. Колебательные движения рабочей ветви задают установленные под ней два или более синхронно вращающихся

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Flax Fiber: Potential for a New Crop in the Southeast.

активатора роликового типа, свободно установленные на осях. Первый из них установлен в начале зоны комлеподбивания, после ведущего шкива, а последний – в конце этой зоны, перед ведомым шкивом [17; 18].

Для получения максимального эффекта от каждого удара КП независимо от случайных значений входных факторов и фазы ее движения требуется обеспечение постоянства линейной скорости  $V_{\text{КП}}$  и равенства горизонтальной составляющей  $V_x$  и скорости  $V_{\text{ст}}$  конвейеров 2 и 4 (рис. 1).

При работе подборщика-оборачивателя в изменяющихся условиях первая встреча комлевой части слоя стеблей с рабочей поверхностью комлеподбивателя и последующие контакты могут произойти в любой момент времени  $t_k$  и с различной скоростью. Случайная величина  $t_k$  будет распределена с равномерной плотностью  $f(t_k)$  на всем участке времени каждого полного  $i$ -го воздействия роликов-активаторов на КП, в течение которого может произойти контакт:

$$f(t_k) = \frac{1}{b_i - a_i}, \quad (2)$$

где  $a_i$  и  $b_i$  – соответственно время начала и конца  $i$ -го воздействия роликов активаторов на КП, в течение которого может произойти ее контакт со стеблями<sup>6</sup>.

Наиболее эффективное комлеподбивание происходит в результате встречного удара, которым может быть только такой удар, направление которого противоположно смещению слоя стеблей в направлении наклона стола комлеподбивателя. Вероятность создания таких условий появляется только в строго определенную часть периода колебания рабочей поверхности. В остальной

части периода эффективность удара будет значительно ниже из-за сонаправленности векторов действия силы тяжести на стеблевую массу и вертикальной составляющей скорости КП.

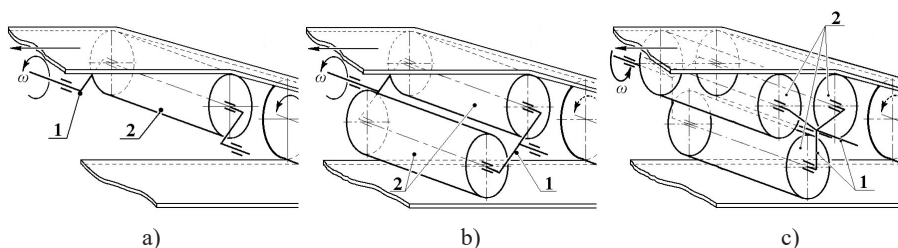
С учетом этого для анализа предложено три конструктивных схемы активаторов: одно-, двух- и трехроликовая (рис. 2).

Экспериментальные исследования проводили на опытном поле Костромской ГСХА. Объектом исследования являлся модернизированный процесс комлеподбивания, который осуществлялся при работе агрегата в составе опытного конвейерного оборачивателя-комлеподбивателя ОКП-1,5К и трактора МТЗ-80 [4; 6]. Для получения необходимой информации применен трехуровневый план 2-го порядка Бокса – Бенкина.

Активатор выполнен в виде колленчатого вала 1, у которого шейка каждого кривошипа является осью для свободновращающегося ролика 2. В качестве независимых переменных приняты: плотность стеблевой ленты  $\rho$ , размах  $A$  и количество ударов КП  $N$ . Уровни и интервалы варьирования факторов выбраны исходя из условий, характерных для работы серийных подборщиков-оборачивателей лент льна (табл.). Скорость агрегата  $V_{\text{агр}}$  в опыте была 1,9, 2,3 и 2,7 м/с.

В опытах использовался постоянный лен-долгунец сорта Ленок: густота стеблестоя 1 200 ст/м<sup>2</sup>, средний диаметр стеблей 1,28 мм, средняя общая длина стеблей 74,2 см, жесткость 0,0040–0,0045 Н/м<sup>2</sup>. Характеристика слоя стеблей: плотность составила 1 810 ст/м ленты, относительная средняя растянутость стеблей в ленте была 13,1 %. Влажность тресты составила 21,3 %, толщина слоя стеблей была 0,035 м.

<sup>6</sup> Горлач Б. А. Теория вероятностей и математическая статистика : учебн. пособие для вузов. СПб. : Лань, 2021. 320 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/168478> (дата обращения: 10.01.2022).



Р и с. 2. Схемы активаторов: а) однороликовый; б) двухроликовый; в) трехроликовый  
 F i g. 2. Schemes of activators: a) single-roller; b) two-roller; c) three-roller

Т а б л и ц а  
 T a b l e

**Факторы, интервалы и уровни их варьирования**  
**Factors, intervals and levels of their variation**

Факторы / Factors	Уровни факторов / Factor levels			Интервалы варьирования / Variation intervals
	-1	0	+1	
$\rho$ , ст/м / $\rho$ , st/m	1 747	2 110	2 473	363
$N$ , удары / $N$ , strikes	2	3	4	1
$A$ , м / $A$ , m	0,01	0,02	0,03	0,01

Выходным параметром являлось изменение относительной растянутости стеблей в ленте  $\Delta$  после ее выравнивания модернизированным комлеподбивателем, выраженное в абсолютных процентах. Результаты эксперимента обрабатывались по известным методикам<sup>7</sup>.

**Результаты исследования**

Поскольку сила, необходимая для сдвигания стеблей друг относительно друга, несоизмеримо мала, в сравнении с силой воздействия комлеподбивающей поверхности, то при дальнейших рассуждениях будем оперировать кинематическими понятиями без учета динамической составляющей исследуемого процесса.

Рассмотрим пример кинематики движения комлеподбивающей по-

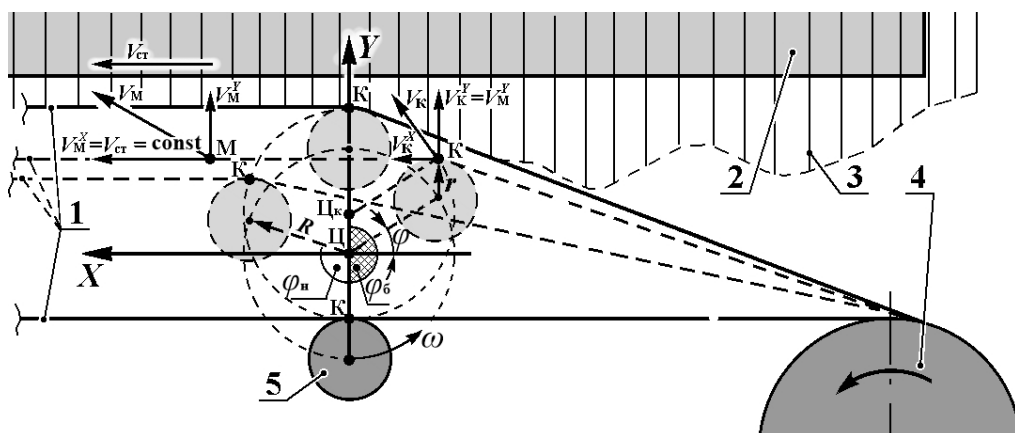
верхности под воздействием однороликового активатора (рис. 3)<sup>8</sup>.

Плоский ремень комлеподбивателя совершает равномерное поступательное движение под воздействием ведущего шкива 4 в направлении движения транспортера 2. Причем скорости этих движений имеют одинаковые направления и значения, равные  $V_{ст}$ . Возвратно-поступательные движения рабочей поверхности 1 в направлении осей стеблей задают с помощью активаторов 5.

Постоянное соблюдение условия (1) происходит в результате комплексного воздействия шкива 4 и активаторов 5 на комлеподбивающую поверхность 1. Поскольку ролики активаторов 5 свободно вращаются на своих осях, то они не оказывают влияния на характер движения КП в направлении оси  $X$ .

<sup>7</sup> ГОСТ 33734-2016. Техника сельскохозяйственная. Комбайны и машины для уборки льна. Методы испытаний. М., 2017.

<sup>8</sup> Зинцов А. Н. Обоснование и разработка процессов и машин для раздельной уборки льна-долгунца : дис. ... д-ра. техн. наук. М., 2008. 347 с.



Р и с. 3. Расчетная схема движения рабочей поверхности комбеподбивателя:  
1 – рабочая поверхность; 2 – комлевой транспортер; 3 – стебли льна; 4 – ведущий шкив; 5 – активатор

F i g. 3. The design diagram of the movement of the working surface of the device for striking the butt of plants: 1 – working surface; 2 – butt conveyor; 3 – flax stems; 4 – driving pulley; 5 – activator

Благодаря такой конструкции рабочая поверхность 1 относительно движущегося слоя совершает незатухающие гармонические колебания только в направлении осей стebelей (ось  $Y$ ), и вся энергия удара будет расходоваться только на выполнение полезной работы по сдвиганию стеблей в осевом направлении. При этом встречный удар возможен в той части периода, когда направление движения поверхности 1 совпадает с положительным направлением оси  $Y$  (рис. 3). Для определения вероятности нанесения встречного удара проанализируем движение точки  $M$  комбеподбивающей поверхности 1.

Движение точки  $M$  в координатной плоскости  $ЦХУ$  зависит от характера движения точки  $K$  контакта ролика с КП. В произвольном положении ролика точка  $K$  имеет координаты:

$$X_K = -R \cdot \cos \varphi, Y_K = R \cdot \sin \varphi + r, (3)$$

где  $R$  – радиус кривошипа активатора;  $\varphi$  – угол поворота кривошипа от исходного положения ( $X = -R$ ;  $Y = 0$ );  $r$  – радиус ролика.

Угол  $\varphi$  изменяется пропорционально угловой скорости вращения активатора  $\omega$  и времени  $t$ :

$$\varphi = \omega \cdot t. (4)$$

С учетом соотношения (4) получаем уравнения движения точки  $K$ :

$$\begin{aligned} X_K &= -R \cdot \cos(\omega \cdot t), \\ Y_K &= R \cdot \sin(\omega \cdot t) + r. \end{aligned} (5)$$

Для определения траектории точки  $K$  представим уравнения ее движения в виде

$$\cos(\omega \cdot t) = -\frac{X_K}{R}; \sin(\omega \cdot t) = \frac{Y_K - r}{R}. (6)$$

Сложив почленно квадраты этих уравнений, получим

$$\frac{(Y_K - r)^2}{R^2} + \frac{X_K^2}{R^2} = 1. (7)$$

Это означает, что точка  $K$  совершает круговые движения с радиусом  $R$  относительно центра  $Ц_K$  с координатами  $X = 0$  и  $Y = r$ . Очевидно, что за счет постоянного контакта ролика активатора



с ремнем, размах  $A$  удара будет равен двум радиусам кривошипа активатора.

Поскольку ролики активатора не способны оказывать воздействия на комлеподбивающую поверхность в направлении оси  $X$ , любая ее точка  $M$  будет совершать поступательное движение в указанном направлении с постоянной скоростью  $V_M^X$  независимо от положения кривошипа. Причем указанная особенность роликов позволит максимально обеспечить выполнение условия (1), и скорость  $V_M^X$  будет всегда равняться скорости  $V_{ст}$  комлевого и вершинного конвейеров комлеподбивателя. Тогда движение точки  $M$  в направлении оси  $X$  будет описано выражением

$$X_M = V_{ст} \cdot t. \quad (8)$$

В результате неразрывного контакта КП с роликом точка  $M$  будет совершать свое движение относительно слоя стеблей, копируя движение ролика в направлении оси  $Y$ :

$$Y_M = Y_K = R \cdot \sin(\omega \cdot t) + r. \quad (9)$$

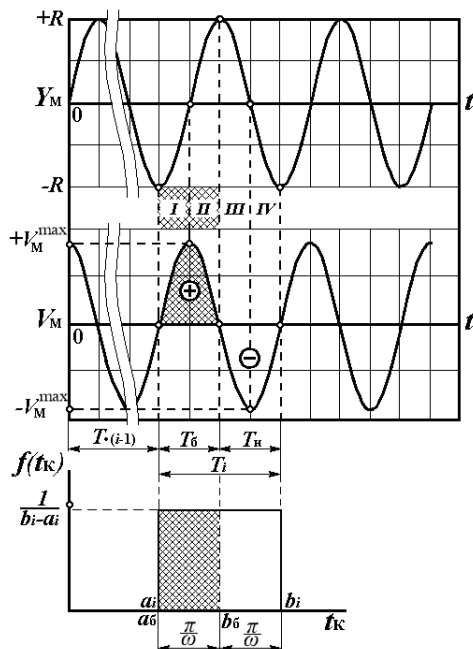
Далее определяем горизонтальную и вертикальную составляющие скорости точки  $M$ :

$$V_M^X = \dot{X}_M = V_{ст}, \quad (10)$$

$$V_M^Y = \dot{Y}_M = R \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t). \quad (11)$$

Поскольку работа комлеподбивателя производится с постоянным соблюдением условия (1), то все дальнейшие исследования кинематики движения точки  $M$  его рабочей поверхности будем выполнять только относительно оси  $Y$ . С учетом сказанного вероятность нанесения эффективных ударов определяем с помощью графического анализа зависимостей (9) и (11) (рис. 4). При этом анализировать движение точки  $M$  будем относительно центра вращения  $\Pi_K$  точки  $K$  контакта ролика

с комлеподбивающей поверхностью (рис. 3).



Р и с. 4. Схема к определению вероятности нанесения эффективных встречных ударов по комлям растений

F i g. 4. Scheme for determining the probability of inflicting effective counter strikes on the butt of plants

Выделим на графиках четыре фазы движения КП под воздействием ролика активатора:

*I* – точка  $M$  комлеподбивающей поверхности движется вверх по закону синуса из положения с ординатой  $Y_M = -R$  с ускорением до первого среднего положения с ординатой  $Y_M = 0$ , и вектор ее скорости  $V_M$  растет в положительном направлении оси  $Y$  от нуля до максимального значения  $+V_M^{\max}$ ;

*II* – точка  $M$  продолжает движение к верхней точке  $Y_M = +R$  с замедлением, и скорость ее падает с максимального значения  $+V_M^{\max}$  до нуля;

*III* – точка  $M$  опускается с ускорением из верхней точки до следующего среднего положения  $Y_M = 0$ , и вектор ее

скорости в отрицательном направлении оси  $Y$  изменяется от нуля до максимума  $-V_M^{\max}$ ;

$IV$  – точка  $M$  продолжает опускаться с замедлением из среднего положения до нижнего  $Y_M = -R$ , а ее скорость в отрицательном направлении оси  $Y$  падает до нуля.

С учетом знака вектора скорости точки  $M$  все фазы объединяем в две группы:

– положительную ( $T_6 = I + II$ ), когда вектор скорости  $V_M$  имеет положительное направление и благоприятное для нанесения встречного удара по комлям стеблей (заштрихованные фазы);

– отрицательную ( $T_{н6} = III + IV$ ), когда вектор скорости  $V_M$  имеет отрицательное направление, то есть неблагоприятное для нанесения удара (незаштрихованные фазы).

Графики движения и скорости точки  $M$ , представленные на рисунке 4, указывают на очевидное равенство обеих групп, и поэтому их сумма составит длительность периода  $i$ -го движения КП:

$$T_i = T_6 + T_{н6}. \quad (12)$$

Выразим длительность периода через угловую скорость активатора:

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (13)$$

С учетом равенства групп их длительности будут равны

$$T_6 = T_{н6} = \frac{\pi}{\omega}. \quad (14)$$

Найдем вероятность контакта слоя стеблей с КП в положительную группу фаз ( $a_6 \dots b_6$ ):

$$P_K^6 = \{a_6 < t_K < b_6\} = \frac{b_6 - a_6}{b_i - a_i} = \frac{T_6}{T_i}. \quad (15)$$

<sup>9</sup> Там же ; ГОСТ 33734-2016.

Геометрически эта вероятность представляет собой заштрихованную площадь на рисунке 4.

Таким образом, нанесение эффективных ударов возможно только в половине случаев  $P_K^6 = 0,5$ , а в остальной половине эффективность контакта будет значительно ниже из-за одинакового направления скоростей движения комлеподбивающей поверхности и смещения стеблей под воздействием силы тяжести.

Повысить активность комлеподбивания возможно путем наклона КП на некоторый угол  $\alpha$ . Проанализируем кинематику такого движения точки  $M$  (рис. 5)<sup>9</sup>.

Из-за отсутствия у роликов активаторов транспортирующего воздействия на КП в направлении оси  $X$  анализ кинематики движения точки  $M$  будем проводить, как и в предыдущем случае, только в направлении оси  $Y$ .

Отсчет угла  $\varphi$  поворота активатора будем производить от прямой  $O-O$ , проведенной под углом  $\alpha$  через центр вращения  $\Pi$  и параллельной КП. С учетом угла  $\alpha$  и  $\varphi = \omega \cdot t$  движение точки  $K$  контакта ролика с КП в направлении оси  $Y$

$$Y_K = R \cdot \sin(\omega \cdot t - \alpha) + r \cdot \cos \alpha. \quad (16)$$

Для соблюдения условия (1) ремень  $3$  движется под воздействием шкива  $b$  с постоянной скоростью

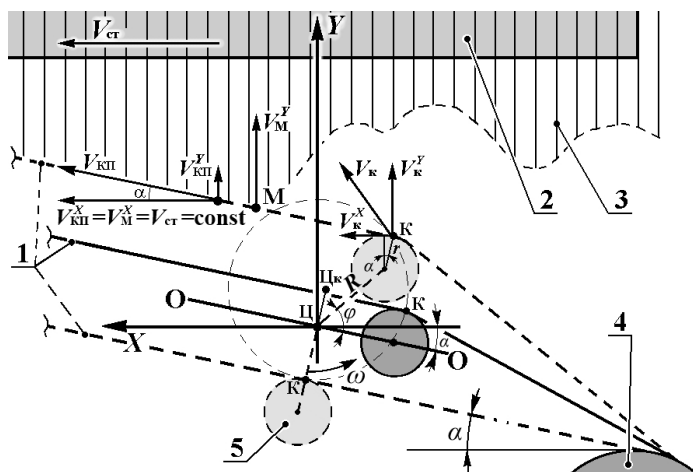
$$V_{кп} = \frac{V_{ст}}{\cos \alpha} = \text{const}, \quad (17)$$

а проекция вектора этой скорости на ось  $Y$  будет равна

$$V_{кп}^Y = V_{ст} \cdot \tan \alpha. \quad (18)$$

Тогда движение любой точки  $M$  в направлении оси  $Y$  будет описано выражением

$$Y_M = R \cdot \sin(\omega \cdot t - \alpha) + r \cdot \cos \alpha + t \cdot V_{ст} \cdot \tan \alpha, \quad (19)$$



Р и с. 5. Расчетная схема движения рабочей поверхности комлеподбивателя, выполненной под наклоном: 1 – рабочая поверхность; 2 – комлевой транспортер; 3 – стебли льна; 4 – ведущий шкив; 5 – активатор

Fig. 5. Design diagram of the movement of the working surface of the device for striking the butt of plants, performed at an inclination: 1 – working surface; 2 – butt conveyor; 3 – flax stems; 4 – driving pulley; 5 – activator

а скорость этой точки

$$V_M^Y = \dot{Y}_M = R \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t - \alpha) + V_{ст} \cdot \tan \alpha. \quad (20)$$

Графическая интерпретация зависимостей (19) и (20) представлена на рисунке 6.

В наклонной конструкции точка К контакта ролика с ремнем КП также будет совершать движения по окружности радиусом  $R$  относительно центра  $\Pi_K$  с новыми координатами  $X = r \cdot \sin \alpha$  и  $Y = r \cdot \cos \alpha$  (рис. 5).

Наклон КП на угол  $\alpha$  вызовет увеличение размаха  $A_\alpha$  ударных воздействий (кривая 2 на графике  $Y_M(t)$  рисунка 6) по сравнению с размахом  $A_0$  в горизонтальном исполнении комлеподбивающего конвейера при  $\alpha = 0$  (кривая 1) на величину

$$\Delta A^{(+)} = A_\alpha - A_0. \quad (21)$$

При этом размах ударов комлеподбивающей поверхности, имеющей наклон  $\alpha$ , будет равен

$$A_\alpha = 2 \cdot \frac{R}{\cos \alpha} + T_6^\alpha \cdot V_{ст} \cdot \tan \alpha, \quad (22)$$

где  $T_6^\alpha$  – длительность положительной группы фаз с учетом наклона КП на угол  $\alpha$ .

С учетом выражения (22) и  $A_0 = 2R$  увеличение размаха под влиянием угла  $\alpha$  будет равно

$$\Delta A^{(+)} = 2 \cdot \frac{R}{\cos \alpha} + T_6^\alpha \cdot V_{ст} \cdot \tan \alpha - 2R. \quad (23)$$

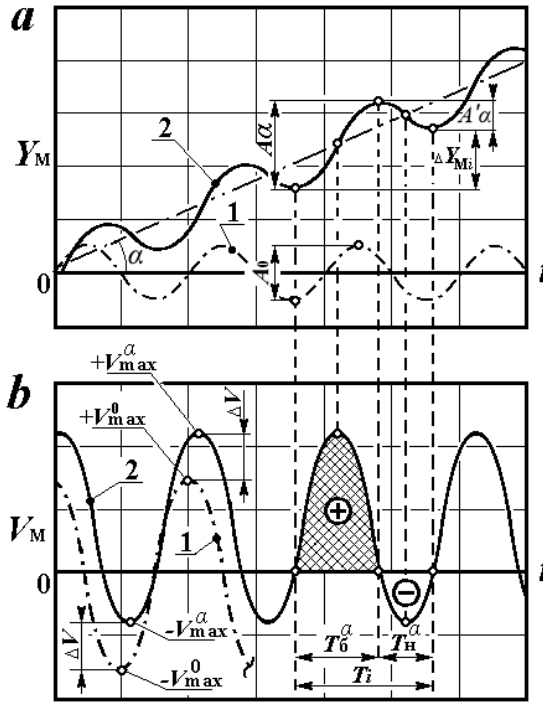
Наклон  $\alpha$  вызвал также сокращение обратного размаха  $A'_\alpha$  точки М в отрицательной группе фаз на величину

$$\Delta A^{(-)} = A_0 - A'_\alpha. \quad (24)$$

Величина обратного размаха будет равна

$$A'_\alpha = 2 \cdot \frac{R}{\cos \alpha} - T_{н6}^\alpha \cdot V_{ст} \cdot \tan \alpha, \quad (25)$$

где  $T_{н6}^\alpha$  – длительность отрицательной группы фаз.



Р и с. 6. Графики пути (а) и скорости (b) точки М наклонной колеподбивающей поверхности  
 F i g. 6. Graphs of the path (a) and speed (b) of the point M of the inclined surface for impacts on the butt of plant stems

С учетом выражения (25) сокращение величины обратного размаха под влиянием угла  $\alpha$

$$\Delta A^{(-)} = 2R - 2 \cdot \frac{R}{\cos \alpha} + T_{нб}^{\alpha} \cdot V_{ст} \cdot \tan \alpha. \quad (26)$$

Сравнение (22) и (25) показало, что размах удара КП, расположенной под наклоном  $\alpha$ , больше ее обратного движения на величину

$$\Delta Y_{Mi} = \frac{2\pi}{\omega} \cdot V_{ст} \cdot \tan \alpha.$$

Анализ полученных зависимостей (21)–(26) выявил следующие положительные изменения в кинематике новой конструкции КП:

– увеличенный размах ударов повышает эффективность работы КП за счет расширения  $\Delta A^{(+)}$  возможной величины продольного сдвига стеблей за каждое воздействие без изменения радиуса активатора;

– уменьшение размаха обратных движений  $\Delta A^{(-)}$  при  $\omega = \text{const}$  и  $V_{КП} = \text{const}$  сокращает время между положительными фазами на величину  $\Delta T = \frac{\pi}{\omega} - T_{нб}^{\alpha}$  и увеличивает вероятность эффективных ударов.

Под влиянием наклона  $\alpha$  скоростной режим работы КП также приобрел положительные изменения в виде увеличения максимальной скорости с  $+V_{max}^0$  до  $+V_{max}^{\alpha}$  на величину  $\Delta V = V_{ст} \cdot \tan \alpha$  (рис. 6). Аналогичные изменения

произошли и с отрицательной скоростью КП в сторону снижения ее максимального значения  $-V_{\max}^Y$ . Это означает, что в отрицательной группе фаз скорость возможного контакта слоя стеблей с КП также несколько возрастет.

Очевидно, что положительные изменения произойдут и с вероятностью нанесения эффективного удара. Для оценки полученного эффекта необходимо сопоставить продолжительность  $T_6^\alpha$  положительной группы с величиной периода  $T_i$ .

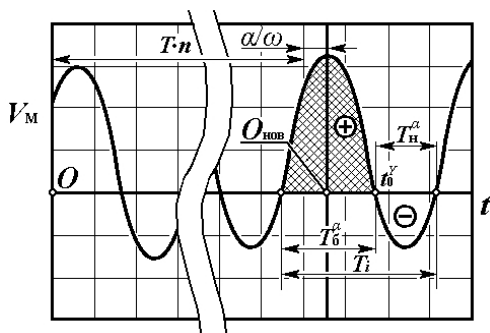
Каждая группа фаз на графике  $V_M(t)$  (рис. 6) начинается и заканчивается в точках пересечения кривой 2 и оси  $t$ . В этих точках проекция вектора скорости КП на ось  $Y$  равна нулю:

$$R \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t - \alpha) + V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha = 0. \quad (27)$$

Для определения  $T_6^\alpha$  перенесем начало координат на графике  $V_M(t)$  (рис. 7) из точки  $O$  в точку  $O_{\text{нов}}$  с новыми координатами  $t = T \cdot n + \frac{\alpha}{\omega}$  и  $V_M = 0$ , где  $n$  – любое натуральное целое число.

При этом выражение (27) примет вид

$$R \cdot \omega \cdot \cos \omega t + V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha = 0. \quad (28)$$



Р и с. 7. Схема к определению вероятности нанесения эффективных встречных ударов по комлям растений наклонной поверхностью

Fig. 7. Scheme for determining the likelihood of an inclined surface of effective counter-impacts on the butt of plants

В рамках одного полного воздействия ролика активатора определим

момент времени  $t_0^Y$ , при котором вектор скорости  $V_M$  первый раз меняет свое направление с положительного на отрицательное, то есть  $V_{\max}^Y = 0$ :

$$t_0^Y = \frac{1}{\omega} \arccos\left(-\frac{V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right). \quad (29)$$

Очевидно, что время  $t_0^Y$  является половиной длительности  $T_6^\alpha$ , то есть:

$$T_6^\alpha = \frac{2}{\omega} \arccos\left(-\frac{V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right). \quad (30)$$

Поскольку вероятность контакта комлей стеблей с КП в течение положительной группы фаз ее скорости имеет распределение по закону равномерной плотности, то, с учетом формул (15), (13) и (30), получаем модель, связывающую вероятность нанесения эффективных ударов с основными кинематическими параметрами и режимами работы комлеподбивателя:

$$P_K^6 = \frac{1}{\pi} \arccos\left(-\frac{V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right). \quad (31)$$

Соответственно, контакт комлей с КП в отрицательную группу фаз будет происходить с вероятностью

$$P_K^{н6} = 1 - \frac{1}{\pi} \arccos\left(-\frac{V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right). \quad (32)$$

Несмотря на выявленные положительные изменения в кинематике предложенного устройства с однорольковыми активаторами, плавный характер исследуемого процесса в начале каждой положительной группы фаз обуславливает недостаточную активность комлеподбивания.

Для выявления возможности активизации движений КП была проанализирована по аналогичной методике кинематика предложенного устройства с использованием двух- и трехроликовых активаторов (рис. 2b, 2c).

Положительное влияние наклона КП на кинематику исследуемого процесса послужило причиной применения данного технического решения в конструкциях комлеподбивателя с двух- и трехроликовыми активаторами.

Графики пути и скорости КП под воздействием двухроликовых активаторов в направлении оси  $Y$  представлены на рисунке 8.

Мгновенные изменения траектории и скорости КП в точках  $k_1$  и  $k_2$  заметно активизируют процесс комлеподбивания. В движениях КП появились резко выраженные ударные воздействия, произошло увеличение длительности  $T_6$  благоприятной для удара или положительной фазы на  $\frac{\alpha}{\omega}$  секунд, и на такую же величину сократилась  $T_n$  отрицательная фаза.

Длительность положительной фазы определяется моментом времени  $t_0^Y$ , при котором скорость  $V_M^Y$  принимает нулевое значение, а ее вектор изменяет свое направление с положительного на отрицательное:

$$T_6^\alpha = \frac{1}{\omega} \arccos\left(-\frac{V_{ct} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right) + \frac{\alpha}{\omega}. \quad (33)$$

Отмеченное перераспределение времени в пользу положительной фазы вызовет пропорциональные изменения вероятности нанесения эффективного удара, которая, с учетом выражения (15), будет определяться по формуле

$$P_K^6 = \frac{1}{\pi} \left( \arccos\left(-\frac{V_{ct} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right) + \alpha \right). \quad (34)$$

Соответственно, вероятность контакта стеблей с КП в отрицательную фазу будет

$$P_K^n = 1 - \frac{1}{\pi} \left( \arccos\left(-\frac{V_{ct} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right) + \alpha \right). \quad (35)$$

Сопоставив выражения (31) и (34), видим, что двухроликовая конструкция активатора обеспечит увеличение вероятности нанесения эффективного встречного удара КП по комлям стеблей на величину (%)

$$\Delta P_K^6 = \frac{\alpha}{\pi} \cdot 100. \quad (36)$$

Для практического расчета вероятности  $P_K^6$  нанесения эффективного удара выбираем числовые значения параметров с использованием номограммы<sup>10</sup>.

Результаты графических исследований и проведенных расчетов показали, что применение двух роликов в конструкции каждого активатора в совокупности с наклоном комлеподбивающей поверхности вызовет ряд положительных изменений в процессе комлеподбивания:

- вероятность встречных ударов возрастет на 12,4 % и достигнет 0,624;
- мгновенные изменения траектории и скорости КП в начале каждого ее движения в направлении оси  $Y$  вызовут ярко выраженные встречные ударные воздействия с повышенной скоростью;
- уменьшится скорость КП в неблагоприятной группе фаз поворота активатора.

Формула (35) указывает на наличие вероятности контакта стеблей с КП в отрицательную фазу. Анализ поведения слоя в этом случае показал, что стеблевая масса после наступления такого контакта будет полностью копировать движение комлеподбивающей поверхности без заметного изменения своей растянутости. Описанный характер взаимного движения слоя и КП – следствие

<sup>10</sup> Зинцов А. Н. Обоснование и разработка процессов и машин...

действия силы тяжести и является положительным, поскольку он создает наилучшие условия для очередного удара с максимальным размахом  $A_\alpha$  и высокой скоростью  $V_{\text{нач}} \rightarrow +V_{\text{max}}$  (рис. 8). Даже если в указанное время контакт стеблей с КП не наступил, следующий контакт наступит с достаточно высокой эффективностью. При этом начальная скорость удара  $V_{\text{нач}}$  будет еще более близкой к своему максимуму. Из сказанного следует, что применение двухроликовых активаторов позволит произвести достаточно эффективное комлеподбивание и в случае контакта стеблей с КП в отрицательную фазу.

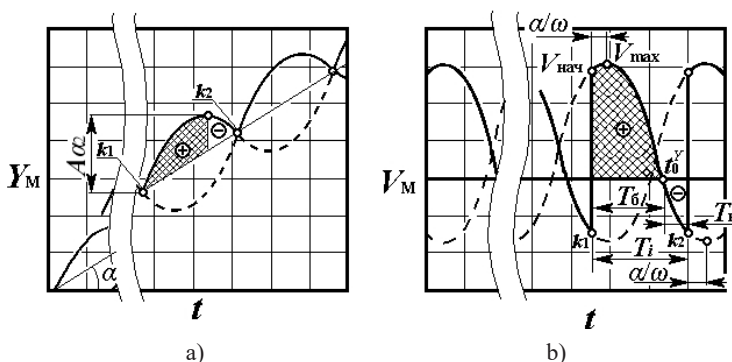
Для обоснования целесообразности применения трех роликов в конструкции активаторов (рис. 2с) проведено графоаналитическое исследование характера движения КП по аналогичной методике. Результаты показали, что увеличение количества роликов не изменит характер движения КП, но уменьшит размах и скорость ее ударов, увеличит металлоемкость конструкции. Следовательно, применять больше двух роликов в одном активаторе нецелесообразно.

С учетом полученных результатов и для обоснования параметров и режи-

мов предложенного устройства с двухроликовыми активаторами (рис. 1) проведены экспериментальные исследования рассмотренного выше процесса, реализуемого при работе оборачивателя-комлеподбивателя ОКП-1,5К. В итоге получена математическая модель процесса уменьшения относительной растянутости стеблей в ленте  $\Delta$  в зависимости от плотности стеблевой массы  $\rho$ , количества  $n$  и размаха  $A$  ударов комлеподбивающей поверхности:

$$\Delta = 4,470 + 1,210 \cdot n + 0,421 \cdot A + 0,091 \cdot \rho + 0,110 \cdot n \cdot A - 0,325 \cdot n^2 - 0,368 \cdot A^2. \quad (37)$$

Значения коэффициентов регрессии убедительно свидетельствуют о главенствующем влиянии количества  $n$  и размаха  $A$  ударов на эффективность комлеподбивания. Установлено, что наибольший эффект от комлеподбивания ( $\Delta = 5,6\%$  и увеличение выработки длинного волокна на 2,5–3,0 %) обеспечивается в зоне максимальных значений факторного пространства, то есть при нанесении четырех ударов с размахом 0,02–0,03 м. Наименьшие значения коэффициентов регрессии в уравнении



Р и с. 8. Схема к определению вероятности нанесения эффективных встречных ударов по колям растений под воздействием активаторов с двумя роликами:

а) траектория точки М рабочей поверхности; б) скорость точки М

Fig. 8. Scheme for determining the likelihood of inflicting effective counter strikes on the butt of plants using two-roller activators: a) trajectory of point M of the working surface; b) speed of point M

(37) имеют плотность  $\rho$  стеблевой массы. Отмеченный факт является положительным, поскольку он свидетельствует о возможности эффективного комлеподбивания стеблей в лентах в широком диапазоне скоростей движения машинных агрегатов от 5,70 до 9,72 км/ч.

### Обсуждение и заключение

Низкий выход длинного волокна при переработке тресты на льнозаводах чаще всего является следствием большой растянутости стеблей в ленте (слое). Уменьшать растянутость наиболее удобно при оборачивании ленты стеблей путем нанесения ударов по комлям растений в направлении их осей. Для этого необходимо использовать подборщик-оборачиватель, конструкция которого содержит наклонный комлеподбиватель конвейерного типа.

Максимальный эффект обеспечит удар, направление которого совпадает с направлением осей стеблей и противоположно их смещению под действием силы тяжести в наклонном комлеподбивателе. При этом скорость движения комлеподбивающей поверхности относительно слоя тресты в поперечном к осям стеблей направлении должна иметь постоянное нулевое значение. Указанный режим может быть реализован конвейером с роликовыми активаторами.

Условия производства льнопродукции характеризуются значительной неравномерностью, и поэтому слой стеблей может иметь существенные различия по своим структурным параметрам. Поэтому при разработке процесса

комлеподбивания нельзя рассматривать слой стеблей и его поведение в виде жесткой материальной точки с известными и постоянными свойствами. В результате проведенных графоаналитических изысканий получена вероятностная модель, связывающая основные кинематические параметры и режимы работы предлагаемого устройства с вероятностью нанесения эффективных ударов по комлям стеблей.

Практические расчеты с использованием полученной модели показали, что применение двухроликовой конструкции активаторов в совокупности с наклоном КП вызовет ярко выраженные ударные воздействия, повысит их скорость, увеличит вероятность нанесения эффективных встречных ударов на 12,4 % и тем самым обеспечит интенсификацию процесса комлеподбивания. Дальнейшее увеличение количества роликов в активаторах будет ослаблять достигнутый эффект.

В результате экспериментальных исследований установлено, что наибольший эффект от комлеподбивания (уменьшение растянутости стеблей в слое  $\Delta = 5,6$  %, что дает увеличение выработки длинного волокна на 2,5–3,0 %) во время оборачивания лент стеблей обеспечивается при нанесении четырех ударов с размахом 0,02–0,03 м. Установлена также возможность эффективного комлеподбивания стеблей в лентах в широком диапазоне скоростей движения машинных агрегатов от 5,70 до 9,72 км/ч.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Akin D. E. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax [Электронный ресурс] // International Scholarly Research Notices. 2013. doi: <https://doi.org/10.5402/2013/186534>
2. Основные проблемы научного обеспечения льноводства / Р. А. Ростовцев [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 45–52. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>



3. Поздняков Б. А. Актуальные направления совершенствования системы машин для уборки льна-долгунца // Техника и оборудование для села. 2019. № 8. С. 2–6. doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-2-6>
4. Зинцов А. Н., Рымарь О. Н., Вакарчук С. И. Устройство для уменьшения растянутости ленты стеблей льна // Сельский механизатор. 2019. № 6. С. 8–11. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41263687> (дата обращения: 30.12.2021).
5. Ковалев М. М., Перов Г. А., Просолов С. В. Анализ работы делителей в трудных условиях уборки // Техника и оборудование для села. 2020. № 11. С. 20–24. doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-11-20-24>
6. Зинцов А. Н. О повышении эффективности комлеподбивания стеблей в лентах льна-долгунца // Вестник АПК Верхневолжья. 2017. № 1. С. 67–72. URL: [https://www.yaragrovuz.ru/images/Vestnik\\_APK/vAPK\\_2017\\_1\\_37.pdf](https://www.yaragrovuz.ru/images/Vestnik_APK/vAPK_2017_1_37.pdf) (дата обращения: 29.12.2021).
7. Галкин А. В., Фадеев Д. Г., Ушаповский И. В. Исследование качественных характеристик льноволокна в зависимости от конструкции очесывающего аппарата // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 3. С. 389–399. doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.389-399>
8. Goudenhooff C., Bourmaud A., Baley C. Flax (*Linum usitatissimum* L.) Fibers for Composite Reinforcement: Exploring the Link Between Plant Growth, Cell Walls Development, and Fiber Properties [Электронный ресурс] // Front. Plant Sci. 2019. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00411>
9. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting / J. Mańkowski [et al.] // Journal of Natural Fibers. 2017. Vol. 15, Issue 1. P. 53–61. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>
10. A Method for Determining Stretching Patterns of a Group of Stems in Plant Materials / Yu. F. Lachuga [et al.] // Russian Agricultural Sciences. 2021. Vol. 47. P. 182–187. doi: <https://doi.org/10.3103/S1068367421020129>
11. Исследование инновационного процесса комлеподбивания стеблей в слое при оборачивании лент льна-долгунца / А. Н. Зинцов [и др.] // Наука в Центральной России. 2021. № 4. С. 40–50. doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-3-40-50>
12. Start Dynamics of Vibrating Machines with Unbalanced Drive Considering Its Elasticity / N. P. Yaroshevich [et al.] // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2018. Issue 3. P. 100–106. doi: <https://dx.doi.org/10.29202/nvngu/2018-3/8>
13. Heller K. The Technologies of Fibrous Crops (Flax and Hemp) Growing and Processing in Sustainable and Multifunctional Development of Agriculture // Fragmenta Agronomica. 2007. Vol. 24. P. 181–186. URL: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PL2008000488> (дата обращения: 11.01.2021).
14. Research of the Dynamic Model of the Flax Stems Line Arranging Mechanism / O. O. Nalobina [et al.] // INMATEH – Agricultural Engineering. 2017. Vol. 53, Issue 3. P. 51–56. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35717513> (дата обращения: 11.01.2021).
15. Blekhman I. I., Vasil'kov V. B., Yaroshevich N. P. On Some Opportunities for Improving Vibration Machines with Self-Synchronizing Inert Vibration Exciters // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2013. Vol. 42, Issue 3. С. 192–195. doi: <http://dx.doi.org/10.3103/S1052618813030023>
16. Blekman L. I., Yaroshevich N. P. Upon Drive Dynamics of Vibratory Machines with Inertia Excitation // Obogashchenie Rud. 2017. Issue 4. P. 49–53. doi: <https://doi.org/10.17580/or.2017.04.09>
17. Подборщик-оборачиватель лент льна : патент 2122309 Российская Федерация / Смирнов Н. А., Зинцов А. Н., Соколов В. Н. № 94023112 ; заявл. 15.06.1994 ; опубл. 27.11.1998. 7 с.
18. Выравниватель стеблей льна : патент 2683726 Российская Федерация / Зинцов А. Н., Соколов В. Н., Рымарь О. Н., Вакарчук С. И. № 2018121595 ; заявл. 13.06.2018 ; опубл. 01.04.2019. 8 с.

*Поступила 29.12.2021; одобрена после рецензирования 20.01.2022; принята к публикации 10.02.2022*

Об авторах:

**Зинцов Александр Николаевич**, профессор кафедры тракторов и автомобилей Костромской ГСХА (156530, Российская Федерация, Костромская обл., пос. Караваяво, ул. Учебный городок, д. 34), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3443-2015>, [zintsov\\_a@mail.ru](mailto:zintsov_a@mail.ru)

**Ковалев Михаил Михайлович**, главный научный сотрудник Федерального научного центра лубяных культур (170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>, Researcher ID: AAT-4775-2021, [m.kovalev@fnclk.ru](mailto:m.kovalev@fnclk.ru)

**Перов Геннадий Анатольевич**, ведущий научный сотрудник Федерального научного центра лубяных культур (170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>, Researcher ID: AAB-5326-2022, [g.perov@fnclk.ru](mailto:g.perov@fnclk.ru)

Заявленный вклад авторов:

А. Н. Зинцов – подготовка начального текста с последующей доработкой, проведение исследований, анализ результатов, визуализация.

М. М. Ковалев – научное руководство, анализ и доработка текста.

Г. А. Перов – подготовка и анализ литературных данных, проведение критического анализа исследований, доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## REFERENCES

1. Akin D.E. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax. *International Scholarly Research Notices*. 2013. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.5402/2013/186534>
2. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovsky I.V., Popov R.A. The Main Problems of Scientific Support of Flax Growing. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2020; 14(3):45-52. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>
3. Pozdnyakov B.A. Up-to-Date Areas of Improving the System of Machines for Harvesting Fiber Flax. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019; (8):2-6. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-2-6>
4. Zintsov A.N., Rymar O.N., Vakarchuk S.I. Device for Reducing the Length of the Ribbon of Stalks Flax. *Selskiy Mekhanizator* = Rural Mechanic. 2019; (6):8-11. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41263687> (accessed 30.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
5. Kovalev M.M., Perov G.A., Prosolov S.V. Analysis of Separator Operation in Difficult Harvesting Conditions. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2020; (11):20-24. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-11-20-24>
6. Zintsov A.N. About Raising Effectivity of Stem Tapes of Fiber Flax. *Vestnik APK Verkhnevolzhya* = Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga Region. 2017; (1):67-72. Available at: [https://www.yaragrovuz.ru/images/Vestnik\\_APK/vAPK\\_2017\\_1\\_37.pdf](https://www.yaragrovuz.ru/images/Vestnik_APK/vAPK_2017_1_37.pdf) (accessed 29.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
7. Galkin A.V., Fadeev D.G., Ushchapovsky I.V. Studying Quality Characteristics of Flax Fiber Depending on Deseeding Device Design. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(3):389-399. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.389-399>
8. Goudenhooff C., Bourmaud A., Baley C. Flax (*Linum usitatissimum* L.) Fibers for Composite Reinforcement: Exploring the Link Between Plant Growth, Cell Walls Development, and Fiber Properties. *Front. Plant Sci*. 2019. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00411>
9. Mańkowski J., Maksymiuk W., Spsychalski G., et al. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting. *Jornal of Natural Fibers*. 2017; 15(1):53-61. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>

10. Lachuga Yu.F., Kovalev M.M., Perov G.A., Galkin A.V. A Method for Determining Stretching Patterns of a Group of Stems in Plant Materials. *Russian Agricultural Sciences*. 2021; 47:182-187. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.3103/S1068367421020129>
11. Zintsov A.N., Kovalev M.M., Sokolov V.N., Perov G.A. Investigation of the Innovative Process of Combing Stems in a Layer When Wrapping Flax Ribbons. *Nauka v tsentralnoy Rossii = Science in the Central Russia*. 2021; (4):40-50. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-3-40-50>
12. Yaroshevich N.P., Zabrodets I.P., Dutchak B.I., Yaroshevich T.S. Start Dynamics of Vibrating Machines with Unbalanced Drive Considering Its Elasticity. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018; (3):100-106. (In Eng.) doi: <https://dx.doi.org/10.29202/nvngu/2018-3/8>
13. Heller K. The Technologies of Fibrous Crops (Flax and Hemp) Growing and Processing in Sustainable and Multifunctional Development of Agriculture. *Fragmenta Agronomica*. 2007; 24:181-186. Available at: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PL2008000488> (accessed 11.01.2021). (In Eng.)
14. Nalobina O.O., Gerasymchuk O.P., Puts V.S., Marchuk M.M. Research of the Dynamic Model of the Flax Stems Line Arranging Mechanism. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017; 53(3):51-56. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35717513> (accessed 11.01.2021). (In Eng.)
15. Blekhan I.I., Vasil'kov V.B., Yaroshevich N.P. On Some Opportunities for Improving Vibration Machines with Self-Synchronizing Inert Vibration Exciters. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2013; 42(3):192-195. (In Eng.) doi: <http://dx.doi.org/10.3103/S1052618813030023>
16. Blekman L.I., Yaroshevich N.P. Upon Drive Dynamics of Vibratory Machines with Inertia Excitation. *Obogashchenie Rud*. 2017; (4):49-53. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.17580/or.2017.04.09>
17. Smirnov N.A., Zintsov A.N., Sokolov V.N. [Flax Ribbon Picker]. Patent 2,122,309 Russian Federation. 1998 November 27. 7 p. (In Russ.)
18. Zintsov A.N., Sokolov V.N., Rymar O.N., Vakarchuk S.I. [Flax Stem Leveller]. Patent 2,683,726 Russian Federation. 2019 April 01. 8 p. (In Russ.)

*Submitted 29.12.2021; approved after reviewing 20.01.2022; accepted for publication 10.02.2022*

*About the authors:*

**Aleksandr N. Zintsov**, Professor of the Chair of Tractors and Automobiles, Kostroma State Agricultural Academy (34 Uchebnyy Gorodok St., Karavaevo, Kostroma Oblast 156530, Russian Federation) Dr. Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3443-2015>, [zintsov\\_a@mail.ru](mailto:zintsov_a@mail.ru)

**Mikhail M. Kovalev**, Chief Scientist, Federal Scientific Center for Bast Crops (17/56 Komsomolskiy Prospect, Tver 170041, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>, Researcher ID: [AAT-4775-2021](https://orcid.org/0000-0003-2424-4205), [m.kovalev@fncl.ru](mailto:m.kovalev@fncl.ru)

**Gennady A. Perov**, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Bast Crops (17/56 Komsomolskiy Prospect, Tver 170041, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>, Researcher ID: [AAB-5326-2022](https://orcid.org/0000-0002-5830-6817), [g.perov@fncl.ru](mailto:g.perov@fncl.ru)

*Contribution of the authors:*

A. N. Zintsov – preparation of the initial text with subsequent refinement, research, analysis of results, visualization.

M. M. Kovalev – scientific guidance, analysis and revision of the text.

G. A. Perov – preparation and analysis of literary data, conducting a critical analysis of research, finalizing the text.

*All authors have read and approved the final manuscript.*