



ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЗМА ЧЕБЫШЕВА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЧЕСКИ ПУХА КОЗ

(✉)Ротова В.А., Шахов В.А., Козловцев А.П., Ушаков Ю.А.

Оренбургский государственный аграрный университет

Оренбург, Россия

(✉)e-mail: rotova_va@mail.ru

Процесс вычесывания пуха коз до сих пор остается практически не механизированным, а потому очень тяжелым для операторов чески пуха. Для успешного развития отрасли требуется в том числе решить вопрос создания механических устройств, которые существенно облегчат работу операторов и позволят увеличить их производительность труда. Не менее важно обеспечить бережное вычесывание, которое не нанесет травмы животному и повысит качество пуха. В этой связи при проектировании механического устройства следует как можно точнее повторить процесс ручного вычесывания. Для этого была изучена траектория движения кончика зуба гребня при ручном вычесывании. По результатам анализа предложена схема вычесывающего устройства на основе шарнирно-рычажного механизма Чебышева. В рамках аналитического метода кинематического исследования механизмов выведены аналитические уравнения, связывающие известные параметры входного (ведущего) звена с неизвестными параметрами ведомых звеньев. Используя эти уравнения, можно с наперед заданной точностью рассчитать необходимые кинематические параметры (перемещения, скорости, ускорения, как линейные, так и угловые) выходного звена и ведомых звеньев. По итогам натурного моделирования и теоретических расчетов были установлены оптимальные габаритные размеры основных звеньев устройства. Применение предложенного механизма позволит снизить физические усилия и утомляемость оператора, повысить производительность благодаря уходу от ручного труда и усовершенствованию устройства.

Ключевые слова: механическое устройство, ческа пуха коз, механизм Чебышева

APPLICATION OF THE CHEBYSHEV MECHANISM IN THE DESIGN OF THE ELEMENTS OF MECHANICAL DEVICES FOR COMBING OUT THE DOWN OF GOATS

(✉)Rotova V.A., Shakhov V.A., Kozlovcev A.P., Ushakov Yu.A.

Orenburg State Agrarian University

Orenburg, Russia

(✉)e-mail: rotova_va@mail.ru

The process of combing out down in goats still remains practically non-mechanized, and therefore very difficult for operators. For the successful development of the down goat breeding industry, it is necessary to conduct research in the development of mechanical devices that will significantly facilitate the work of operators and will increase their productivity. It is equally important to ensure careful combing of down, which will not cause injury to the animal and will improve the quality of the combed down. When developing a mechanical device for combing down in goats, it is necessary to repeat the process of manual combing of down as accurately as possible. To do this, an analysis of the trajectory of movement of the tip of the comb tooth during manual combing was carried out. Based on the results of the analysis, the scheme of a combing device based on the Chebyshev hinge-

lever mechanism was proposed. Analytical equations linking the known parameters of the input (leading) link with the unknown parameters of the driving links are derived within the framework of the analytical method of the kinematic study of mechanisms. Using these equations, it is possible to calculate with a predetermined accuracy the necessary kinematic parameters (displacements, velocities, accelerations, both linear and angular) of the output link and driving links. Based on the results of full-scale modeling and theoretical calculations, the optimal dimensions of the main parts of the device were established. The use of the proposed mechanism will reduce physical effort and operator fatigue, increase productivity due to the abandonment of manual labor and improvement of the device.

Keywords: mechanical device, combing out the goat down, Chebyshev mechanism

Для цитирования: Ротова В.А., Шахов В.А., Козловцев А.П., Ушаков Ю.А. Применение механизма Чебышева в проектировании элементов механических устройств для чески пуха коз // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 3. С. 106–113. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-3-12>

For citation: Rotova V.A., Shakhov V.A., Kozlovtssev A.P., Ushakov Yu.A. Application of the Chebyshev mechanism in the design of the elements of mechanical devices for combing out the down of goats. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 3, pp. 106–113. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-3-12>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Пуховое козоводство – одна из отраслей сельского хозяйства, в которой до сегодняшнего дня остается не решенным вопрос полной механизации труда. В большинстве хозяйств пух чешут вручную с помощью специальных гребней, которые просты в изготовлении и требуют незначительных материальных затрат. Однако ческа пуха ручным гребнем – трудоемкая, требующая значительных физических усилий работа. В настоящее время принимаются меры по усовершенствованию средств для ручной чески пуха и механизации этого процесса. Причем за основу необходимо брать процесс ручного вычесывания пуха, который сформировался естественным путем, многократно отработан и является наиболее оптимальным. К имеющимся на данный момент средствам для ручного расчесывания и вычесывания пуха относятся: 2-сторонний гребень, гребень с заземляющими пластинами, гребень-пухоческа и универсальный гребень-гребенка. Существуют и механические устройства: вибрационная машинка АВП-1, установка барабанного типа, ленточное устройство МЛУ-1 [1]. Главный недостаток ручных гребней – большая физическая нагрузка на оператора. Основным недостатком

механических устройств является то, что они не в полной мере повторяют процесс ручного вычесывания, что влечет за собой неравномерность обработки шерстно-пухового покрова и потерю качества получаемого пухового волокна.

Чтобы дать толчок развитию данной сферы, требуется продолжать исследования по усовершенствованию устройства для вычесывания пуха, оптимизации процесса чески и технологии вычесывания, снижению затрат труда оператора. Для обеспечения наиболее качественного вычесывания пуха необходима разработка устройства, которое бы максимально повторяло механизм ручной чески, позволяло сократить физические усилия и, как следствие, утомляемость оператора, увеличивало производительность труда.

Цели исследования:

- 1) построение математической модели работы вычесывающего устройства, созданного на основе шарнирно-рычажного механизма Чебышева;
- 2) анализ движения вычесывающих зубьев;
- 3) определение оптимальных габаритных размеров основных звеньев устройства.

Приоритетная задача – максимальное воспроизведение механическим вычесывающим устройством траектории движения кончика зуба при ручной ческе пуха.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

При исследовании работы сложных механизмов и машин полагают, что движение входных звеньев задано, а движение выходных звеньев изучается в зависимости от заданного движения входных. Важно понимать, что нужно учитывать не только структуру механизмов и геометрическое соотношение между размерами их звеньев, но и силы, действующие на звенья механизмов, а также возникающие при их движении. При проведении силового анализа механизмов необходимо учитывать влияние внешних сил, сил веса звеньев, сил трения и сил инерции на звенья механизмов, элементы звеньев, кинематические пары и неподвижные опоры; установить метод снижения динамических нагрузок, возникающих в процессе движения механизма. Анализ динамики механизмов предполагает определение режима их движения под действием перечисленных сил и поиск способов, обеспечивающих заданные режимы движения устройств. Вопрос об определении сил имеет большое практическое значение для установления прочности отдельных деталей, расчета мощности, необходимой для работы механизмов, силы трения в кинематических парах, износа трущихся деталей и др. Зная величину сил, действующих на отдельные звенья устройства, можно выбрать наиболее рациональные размеры для всех звеньев, подобрать конструктивные формы, обеспечивающие достаточную прочность деталей, и т.д.

Силы движущие и силы производственных сопротивлений в зависимости от их физических и технологических характеристик могут быть функциями различных кинематических параметров: перемещений, скоростей, ускорений и времени. Обычно эти силы известны либо известны диаграммы сил работ или мощностей.

Сейчас в процессе кинематического исследования механизмов все чаще используется аналитический метод, который заключается в выводе аналитических уравнений, связывающих известные параметры входного (ведущего) звена с неизвестными параметрами ведомых звеньев. С помощью этих уравнений можно рассчитать с наперед заданной точностью интересующие кинематические параметры (перемещения, скорости, ускорения, как линейные, так и угловые) выходного звена и ведомых звеньев¹ [1, 2].

Так как аналитические расчеты бывают очень громоздкими, вычисления по ним представляют известную трудность даже при наличии соответствующего программного обеспечения. В настоящее время в программе ТММ Constructor имеется возможность расчета перемещений, скоростей, ускорений (не только линейных, но и угловых) рассматриваемого механизма Чебышева.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обратимся к уравнениям кинематических параметров группы в общем виде. Данная группа вместе с ведущим звеном и стойкой образует 4-звенный шарнирный рычаг (см. рис. 1).

Положения звеньев определяются угловыми параметрами (1) – (4). Угловая координата ведущего звена (φ_1 , °) известна^{2,3} [1–4].

$$\varphi'_3 = \operatorname{arctg} \frac{\sin \varphi_1}{\lambda_{01} + \cos \varphi_1}; \quad (1)$$

$$\varphi''_3 = \arccos \frac{\sin \varphi_1}{(\lambda_{21} + \lambda_{31}) \sin \varphi'_3}; \quad (2)$$

$$\varphi_3 = \varphi'_3 + \varphi''_3; \quad (3)$$

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{\lambda_{31} \cdot \sin \varphi_3 - \sin \varphi_1}{\lambda_{21}}, \quad (4)$$

$$\text{где } \lambda_{01} = \frac{O_1 O_2}{AO_1}; \lambda_{21} = \frac{AB}{AO_1}; \lambda_{31} = \frac{BO_2}{AO_1}.$$

¹Минасян А.Г., Водолазская Н.В. Теоретические основы подтверждения качества: учеб. пособие. Майский, 2021. С. 20–150.

²Мирзоянц Ю.А. Машинная стрижка и купание овец: монография. Великие Луки, 2001. 164 с.

³Мирзоянц Ю.А., Фириченков В.Е., Зудин С.Ю., Фириченкова С.В. Технология и технические средства машинной стрижки овец: монография. Кострома: Издательство Костромской государственной сельскохозяйственной академии, 2010. 238 с.

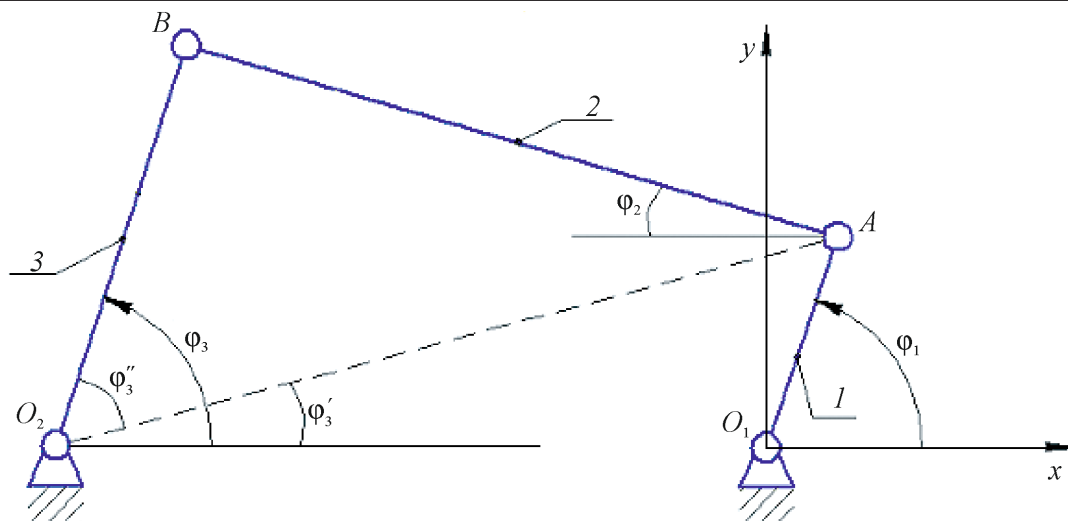


Рис. 1. Схема шарнирно-рычажного четырехзвенника:

1 – ведущее звено; 2 – шатун; 3 – коромысло; O_1O_2 – расстояние между опорами (длина стойки)

Fig. 1. The scheme of the hinge-lever four-bar linkage:

1 - driving link; 2 - connecting rod; 3 - rocker arm; O_1O_2 - distance between the supports (strut length)

Скорости звеньев определяются параметрами (5) – (8). Угловая скорость ведущего звена (ω_1 , 1/с) известна.

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{\sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{\lambda_{31} \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}; \quad (5)$$

$$\omega_3 = \omega_2 \cdot \frac{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{\lambda_{31} \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}; \quad (6)$$

$$V_{AO_1} = \omega_2 \cdot (AO_1); \quad (7)$$

$$V_{BO_2} = \omega_3 \cdot (BO_2). \quad (8)$$

Ускорения звеньев определяются параметрами (9) – (16). Угловое ускорение ведущего звена (ε_1 , 1/с²) известно.

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \frac{\omega_2}{\omega_1} + \frac{\omega_1^2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_3) - \omega_3^2 \cdot \lambda_{31} - \omega_2^2 \cdot \lambda_{21} \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_3)}{\lambda_{31} \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}; \quad (9)$$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_1 \frac{\omega_3}{\omega_1} + \frac{\omega_2^2 \cdot \lambda_{21} + \omega_3^2 \cdot \lambda_{31} \cdot \cos(\varphi_3 - \varphi_2) - \omega_1^2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}{\lambda_{31} \cdot \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}; \quad (10)$$

$$W_{AO_1}^t = \varepsilon_1 \cdot (AO_1); \quad (11)$$

$$W_{AO_1}^n = \omega_1^2 \cdot (AO_1); \quad (12)$$

$$W_{AO_1} = \sqrt{[\varepsilon_1 \cdot (AO_1)]^2 + [\omega_1^2 \cdot (AO_1)]^2}; \quad (13)$$

$$W_{BO_2}^t = \varepsilon_3 \cdot (BO_2); \quad (14)$$

$$W_{BO_2}^n = \omega_3^2 \cdot (BO_2); \quad (15)$$

$$W_{BO_2} = \sqrt{[\varepsilon_3 \cdot (BO_2)]^2 + [\omega_3^2 \cdot (BO_2)]^2}. \quad (16)$$

Для нахождения соответствующих соотношений длин звеньев, задающих траекторию движения выходного звена, необходимо построить планы положений механизма.

Планы положений позволяют судить о характере движения звеньев, о максимальных габаритных размерах и, в первом приближении, о работоспособности механизма.

Так как в нашем случае интересна в первую очередь наглядная траектория движения выходного звена (точки C) с позиции правильности выполнения технологического процесса, следует провести серию построений траекторий путем комбинации соответствующих соотношений длин звеньев [1, 2, 5–7] (см. рис. 2).

Если обозначить угловые координаты звеньев $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ соответственно, то траектория движения выходного звена (точки C) задается соотношением:

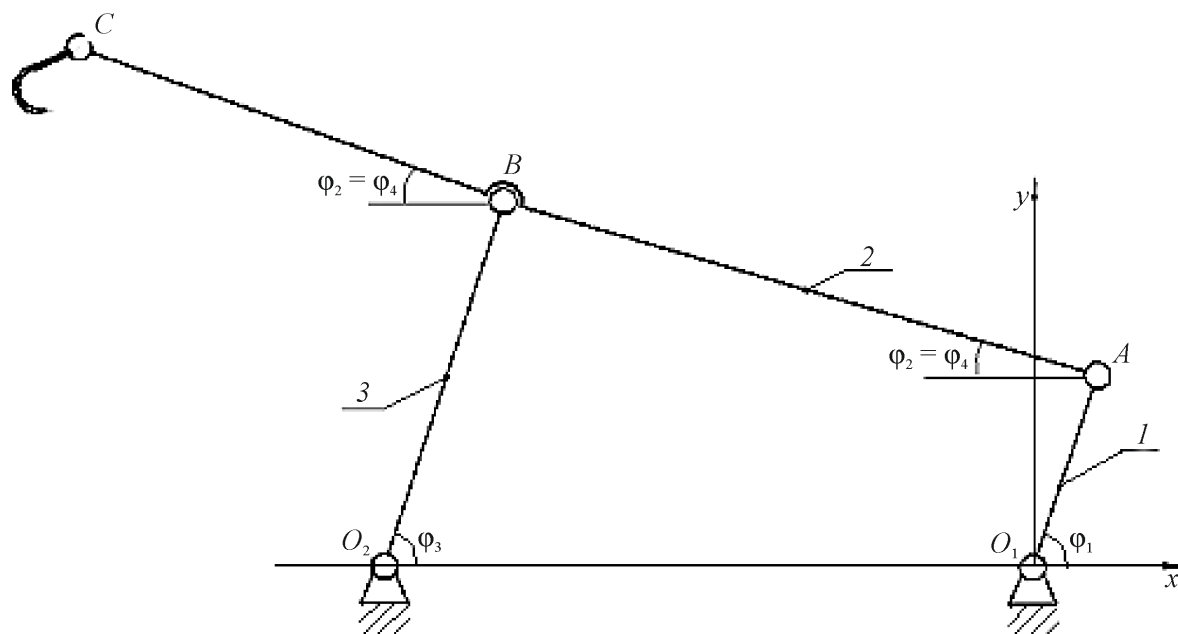


Рис. 2. Определение соответствующих соотношений длин звеньев

Fig. 2. Determination of the corresponding ratios of the links length

$$\begin{aligned} x_C &= O_1A \cos \varphi_1 - (AB + BC) \cos \varphi_2 \\ y_C &= O_1A \sin \varphi_1 - (AB + BC) \sin \varphi_2 \end{aligned} \quad (17)$$

В настоящее время большинство механических устройств для вычесывания пуха коз не соответствует требованиям технологии. Исходя из этого, следует определить траекторию выходного звена (точки C) путем построения планов положений механизма и установить, при каких размерах звеньев данная траектория будет наибольшим образом повторять траекторию руки оператора [8–12].

Формально траекторию движения зуба при ручной ческе можно разделить на три фазы: внедрение зубьев в шерстно-пуховый покров, перемещение в зоне вычесывания, выход зубьев из шерстно-пухового покрова животного. При вхождении зубья движутся вертикально и продольно. В зоне вычесывания гребень перемещается только в продольном направлении. На этом этапе идет теребление пучка волокон для его отделения от кожного покрова. Установлено, что активное вычесывание пуха происходит на горизонтальном участке длиной 400–600 мм, после чего следует вывести гребень из рабочей зоны. Последняя фаза определяет момент

выхода зубьев из рабочей зоны. По продолжительности она существенно меньше первых двух этапов.

Натурное моделирование процесса и проведенные теоретические расчеты позволили подобрать наиболее оптимальные размеры звеньев механизма Чебышева, которые дадут возможность максимально приблизить траекторию движения рабочего звена вычесывающего устройства к траектории движения гребня при ручном вычесывании пуха. При помощи полученных зависимостей (1) – (17) были просчитаны все возможные траектории движения вычесывающего элемента в зависимости от исходных размеров и первоначальных положений звеньев. Границы изменения угловой координаты ведущего звена и расчетные значения координат движения кончика вычесывающего элемента приведены в таблице.

В результате проведенных расчетов определены наиболее оптимальные размеры предлагаемой вычесывающей конструкции, которые позволяют добиться траектории движения выходного звена (точки C), максимально повторяющей траекторию движения кончика зуба гребня при ручном вычесывании пуха. В предлагаемом варианте

Расчеты размеров четырехзвенника Чебышева

Calculations of the dimensions of the Chebyshev four-bar linkage

Угловые параметры, град.					Координаты движения выходного звена, м	
φ_1	φ_3'	φ_3''	φ_3	φ_2	x_C	y_C
15	2,98	5,99	8,98	1,02	-0,50	0,04
30	5,87	11,95	17,82	2,14	-0,51	0,07
45	8,54	17,83	26,37	3,46	-0,53	0,11
60	10,89	23,58	34,47	5,09	-0,55	0,14
90	14,04	34,45	48,49	9,55	-0,59	0,20
120	13,90	43,85	57,75	15,97	-0,63	0,25
135	12,12	47,66	59,77	19,90	-0,63	0,27
150	9,06	50,60	59,67	24,12	-0,63	0,30
175	1,66	53,06	54,72	31,01	-0,61	0,32
195	-4,88	52,48	47,61	35,35	-0,59	0,32
210	-9,06	50,60	41,54	37,50	-0,56	0,32
225	-12,12	47,66	35,54	38,55	-0,54	0,30
240	-13,90	43,85	29,96	38,43	-0,52	0,29
271	-13,98	34,11	20,13	34,24	-0,49	0,24
300	-10,89	23,58	12,68	25,79	-0,49	0,17
315	-8,54	17,83	9,28	20,08	-0,49	0,14
330	-5,87	11,95	6,08	13,73	-0,50	0,09
359	-0,20	0,40	0,20	0,47	-0,50	0,00

Примечание. Значение коэффициентов: $\lambda_{01} = 4$; $\lambda_{21} = 3$; $\lambda_{31} = 2$.

размеры устройства следующие: ведущее звено $OA_1 = 0,1$ м, шатун $AB = 0,3$ м, коромысло $BO_2 = 0,2$ м, расстояние между опорами стойки $O_1O_2 = 0,4$ м, длина выходного звена $CB = 0,3$ м (является длиной вычесывающего гребня с закрепленными на конце зубьями).

На основе данных таблицы при изменении угловой координаты ведущего звена φ_1 от 15 до 359° построена кривая, проходящая через точки с координатами $(x_C; y_C)$. Проверка теоретических расчетов показала совпадение полученных результатов с же-

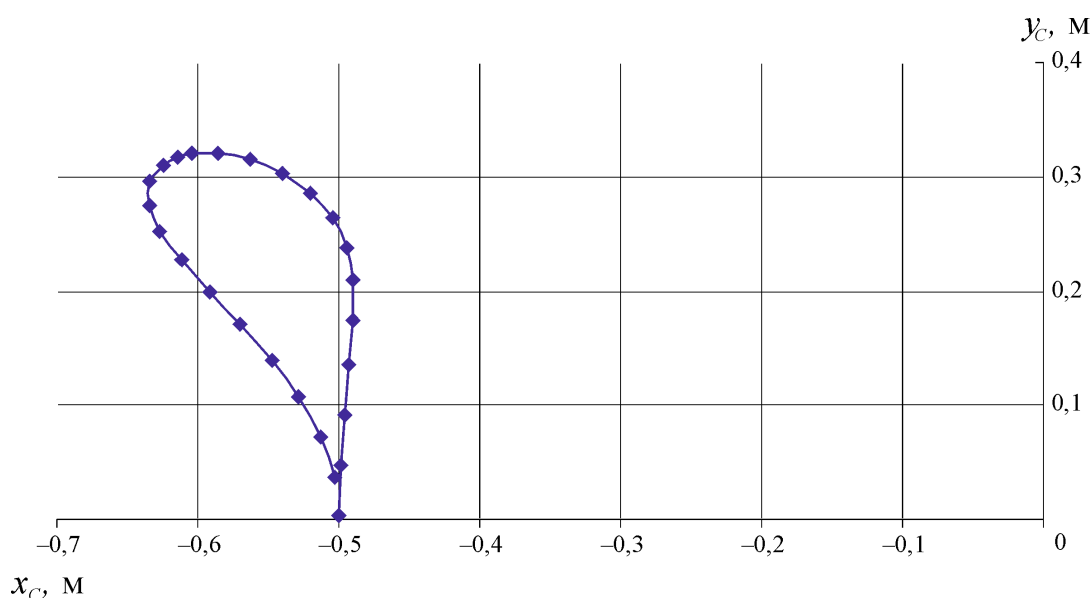


Рис. 3. Траектория движения выходного звена

Fig. 3. The trajectory of the output link

лаемой траекторией движения зуба гребня (см. рис. 3). Такое движение рабочего звена позволяет оптимизировать зону вычесывания. Кроме того, траектория движения зуба в пуховом покрове животного проходит практически по прямой. По представленным в таблице значениям и графику можно увидеть, что зона вычесывания пуха составит примерно 0,4 м, что также соответствует размеру зоны вычесывания при ручном способе чески.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построенная математическая модель работы вычесывающего устройства на основе шарнирно-рычажного механизма Чебышева и анализ движения зубьев позволили определить базовый принцип конструкции механического устройства для вычесывания пуха коз. В результате исследований установлены оптимальные габаритные размеры основных звеньев устройства. Внедрение предложенного механизма даст возможность сократить физические усилия и утомляемость оператора, увеличить производительность за счет ухода от ручного труда и усовершенствования устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ротова В.А., Ушаков Ю.А. Механизированное вычесывание пуха у коз: совершенствование технологии и технического средства: монография. Saarbrücken (Deutschland): Palmarium academic publishing, 2014. 215 с.
2. Мирзоянц Ю.А., Фириченков В.Е., Швецова И.Ю. Перспективные технологии и инновационные технические средства производства продукции в пастбищный период содержания // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института механизации животноводства. 2015. № 2 (18). С. 162–168.
3. Фириченков В.Е. Направление механизации и автоматизации овцеводства России на период до 2030 г. // Техника и технологии в животноводстве. 2020. № 1. С. 57–62.
4. Мирзоянц Ю.А. Инновационные технологии производства продукции овцеводства // Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического ин-

ститута механизации животноводства. 2016. № 3 (23). С. 51–56.

5. Мирзоянц Ю.А., Фириченков В.Е., Середа Н.А. Технология пастбищного периода содержания овец в личном подворье и крестьянских (фермерских) хозяйствах // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 1. С. 32–34.
6. Кравченко Н.И. Создание нового типа многоплодных овец на основе скрещивания мериносов с романовскими баранами // Овцы, козы, шерстяное дело. 2017. № 3. С. 16–18.
7. Кравченко Н.И. Как вывести отрасль из затянувшегося кризиса // Овцы, козы, шерстяное дело. 2014. № 1. С. 4–6.
8. Костылев М.Н., Барышева М.С. Оценка кожно-волосяного покрова молодняка овец романовской породы разных генеалогических групп // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 4. С. 56–58.
9. Чикалев А.И., Юлдашбаев Ю.А. Зоотехнические и технологические аспекты повышения качества козьего пуха: монография. М., 2014. 229 с.
10. Мусалаев Х.Х., Абдуллабеков Р.А. Аминокислотный состав шерстяных волокон коз // Овцы, козы, шерстяное дело. 2017. № 2. С. 31–33.
11. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. Состояние и динамика поголовья коз и производства козлятины в мире и России // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 1. С. 29–31.
12. Каргачакова Т.Б., Чикалев А.И. Алтайские белые пуховые козы // Овцы, козы, шерстяное дело. 2016. № 2. С. 9–11.

REFERENCES

1. Rotova V.A., Ushakov Yu.A. *Mechanized combing of down in goats: Improvement of technology and technical means*. Saarbrücken (Deutschland): Palmarium academic publishing, 2014, 215 p. (In Russian).
2. Mirzoyants Yu.A., Firichenkov V.E., Shvetsova I.Yu. Promising technologies and innovative technical means of production in the pasture period of maintenance. *Vestnik VNIIMZh = Journal of VNIIMZH*, 2015, no. 2 (18), pp. 162–168. (In Russian).
3. Firichenkov V.E. The direction of mechanization and automation of sheep breeding in Russia for the period up to 2030. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and technologies in livestock*, 2020, no. 1, pp. 57–62. (In Russian).

4. Mirzoyants Yu.A. Innovative technologies of sheep production. *Vestnik VNIIMZh = Journal of VNIIMZH*, 2016, no. 3 (23), pp. 51–56. (In Russian).
5. Mirzoyants Yu.A., Firichenkov V.E., Sereida N.A. Technology of the pasture period of keeping sheep in a personal farmstead and peasant (farm) farms. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2018, no. 1, pp. 32–34. (In Russian).
6. Kravchenko N.I. Creation of a new type of multiple-breeding sheep based on crossing merinos with Romanov rams. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2017, no. 3, pp. 16–18. (In Russian).
7. Kravchenko N.I. How to bring the industry out of the protracted crisis. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2014, no. 1, pp. 4–6. (In Russian).
8. Kostylev M.N., Barysheva M.S. Assessment of the skin and hair cover of young sheep of the Romanov breed of different genealogical groups. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2018, no. 4, pp. 56–58. (In Russian).
9. Chikalev A.I., Yuldashbayev Yu.A. *Zootechnical and technological aspects of improving the quality of goat down*. Moscow, 2014, 229 p. (In Russian).
10. Musalaev H.H., Abdullabekov R.A. Amino acid composition of wool fibers of goats. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2017, no. 2, pp. 31–33. (In Russian).
11. Erokhin A.I., Karasev E.A., Erokhin S.A. The state and dynamics of goat livestock and goat meat production in the world and Russia. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2018, no. 1, pp. 29–31. (In Russian).
12. Kargachakova T.B., Chikalev A.I. Altai white downy goats. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2016, no. 2, pp. 9–11. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Ротова В.А.**, кандидат технических наук, доцент; **адрес для переписки:** Россия, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18; e-mail: rotova_va@mail.ru

Шахов В.А., доктор технических наук, профессор

Козловцев А.П., доктор технических наук, профессор

Ушаков Ю.А., доктор технических наук, профессор

AUTHOR INFORMATION

✉ **Victoria A. Rotova**, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor; **address:** 18, Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, Russia; e-mail: rotova_va@mail.ru

Vladimir A. Shakhov, Doctor of Science in Engineering, Professor

Andrey P. Kozlovtssev, Doctor of Science in Engineering, Professor

Yuriy A. Ushakov, Doctor of Science in Engineering, Professor

Дата поступления статьи / Received by the editors 28.06.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 15.08.2022
Дата публикации / Published 20.04.2023