

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ МЕХАТРОННЫМ ПРОФИЛОГРАФОМ

Федорова А.А., Першуткин Н.В., Марков С.В., Лебедев А.В.

Чувашский государственный университет им. И.Н.Ульянова, Чебоксары

Ключевые слова: мехатронный профилограф, прямолинейная траектория, лазерный датчик, частоты вращения приводов, равномерное движение, показатели качества почвы.

Аннотация. В сельском хозяйстве существует необходимость проверки обработки почвы, при которой определяются качественные показатели вспашки, боронования, лущения стерни, культивации с использованием сельскохозяйственных машин и орудий. Для контроля качества проверки обработки почвы сельхозмашинами может использоваться мехатронный профилограф, штатными движениями для которого являются круговые траектории. Для переключения между основными движениями с целью оптимизации времени используется движение по прямолинейной траектории. Целью работы является анализ кинематических характеристик приводов для обеспечения равномерного движения лазерного датчика по прямолинейной траектории мехатронного профилографа для уменьшения инерционных нагрузок. В статье приводятся зависимости частот вращения приводов профилографа в зависимости от заданной постоянной скорости и конструктивных параметров устройства для обеспечения равномерности движения датчика. Получены графики зависимости частот вращения приводов от угловой координаты опытного образца профилографа с определенными конструктивными параметрами. Анализ представленных графиков показывает, что можно обеспечить равномерное движение датчика по прямолинейной траектории при изменении частот вращения приводов профилографа.

ANALYSIS OF THE KINEMATIC CHARACTERISTICS OF DRIVES WHEN MOVING ALONG A STRAIGHT-LINE TRAJECTORY WITH A MECHATRONIC PROFILOGRAPH

Fedorova A.A., Pershutkin N.V., Markov S.V., Lebedev A.V.

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary

Keywords: mechatronic profilograph, straight-line trajectory, laser sensor, drive rotation frequencies, uniform motion, soil quality indicators.

Abstract. In agriculture, there is a need to check the tillage, which determines the quality indicators of plowing, harrowing, stubble peeling, cultivation using agricultural machinery and tools. To control the quality of checking the tillage of agricultural machinery, a mechatronic profilograph can be used, the standard movements for which are circular trajectories. To switch between the main movements in order to optimize time, movement along a straight-line trajectory is used. The aim of the work is to analyze the kinematic characteristics of the drives to ensure uniform movement of the laser sensor along a straight-line trajectory of the mechatronic profiler to reduce inertial loads. The article presents the dependencies of the rotation frequencies of the profiler drives depending on the specified constant speed and design parameters of the device to ensure uniform movement of the sensor. Graphs of the dependence of the rotation frequencies of the drives on the angular coordinate of the prototype profiler with certain design parameters are obtained. Analysis of the presented graphs shows that it is possible to ensure uniform movement of the sensor along a straight-line trajectory when changing the rotation frequencies of the profiler drives.

Введение

В сельском хозяйстве проводится оценка качества полевых работ, при которой проводится соответствие качества обработки почвы, посева и уборки урожая агротехническим требованиям и характеристикам [1, 2]. Введется проверка обработки почвы: качественные показатели вспашки, боронования, лущения стерни, культивации с использованием сельскохозяйственных машин и орудий [3, 4].

Для контроля качества проверки обработки почвы сельхозмашинами используются различные измерительные устройства [5, 6], в том числе может использоваться мехатронный профилограф [7] (рис. 1), отличительной особенностью которого является автоматизированное измерение нескольких показателей качества почвы.

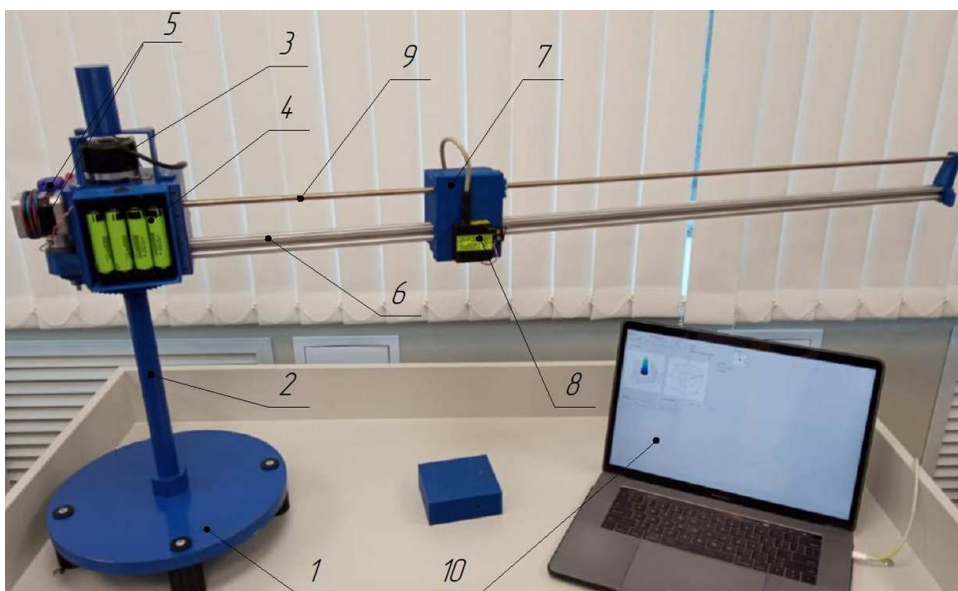


Рис. 1. Общий вид мехатронного профилографа: 1 – основание; 2 – стойка; 3 – угловой датчик; 4 – корпус; 5 – привода; 6 – направляющая; 7 – каретка; 8 – лазерный датчик; 9 – винт, 10 – ноутбук

Мехатронный профилограф – это прибор, состоящий из основания 1, стойки 2 с установленным корпусом 4 и угловым датчиком 3. За счет электродвигателей 5 обеспечивается вращательное движение каретки с датчиком измерения 8 за счет зубчатого механизма и линейное движение вдоль направляющей 6 за счет винтового соединения каретки 7 и винта 9. Измерения и обработка данных за счет Bluetooth-соединений с датчиков 3 и 8 передаются на ноутбук 10.

Штатными движениями для профилографа являются – движение по окружности и по спирали [8]. Иногда для оптимизации времени измерения требуется использование движение по прямолинейной траектории для переключения между основными движениями. Для уменьшения инерционных нагрузок и исключения ударов требуется обеспечение равномерного движения датчика по заданной траектории, которое может быть обеспечено за счет определенного вращения двигателей.

В связи с этим целью работы является анализ кинематических характеристик приводов для обеспечения равномерного движения лазерного датчика по прямолинейной траектории мехатронного профилографа.

Материалы и методы исследований

Схема траектории измерения по прямолинейной траектории в общем случае приведена на рисунке 2, а, на рисунке 2, б – случай измерения без значений.

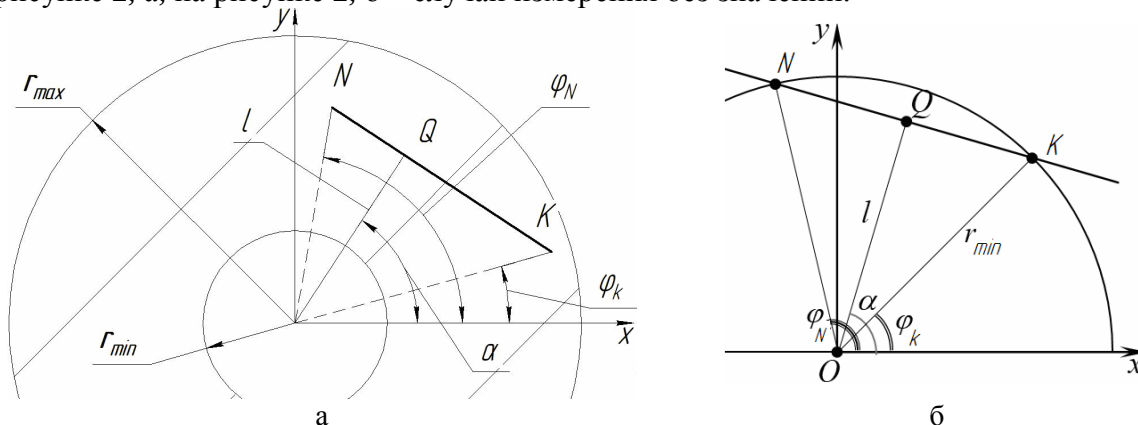


Рис. 2. Схема траектории измерения по прямолинейной траектории: а) общий случай, б) случай без измерений; $r_{\max}$, $r_{\min}$ – максимальный и минимальный радиусы измерения, α – угол между полярной осью p и нормалью к прямой; φ_k , φ_n – угловые координаты начальной точки K и конечной N ; $l(OQ)$ – расстояние от центра координат (полюса) до прямой

Зависимость линейной координаты l_i от угловой φ_i у мехатронного профилографа согласно [7] определяется по формуле:

$$l_i = \frac{\left| -\frac{y_k - y_n}{x_k - x_n} x_n + y_k \right|}{\cos \left(\varphi_i - \arctan \left(-\frac{x_k - x_n}{y_k - y_n} \right) \right) \sqrt{\left(\frac{y_k - y_n}{x_k - x_n} \right)^2 + 1}}, \quad (1)$$

где x_k, x_n, y_k, y_n – координаты начальной точки K и конечной N .

Как видно из рисунка 2, б разность углов определяющая область без получения данных, может быть определена по формуле:

$$\varphi_k - \varphi_n = 2 \arccos \frac{l}{r_{\min}} = 2 \arccos \frac{\left| -\frac{y_k - y_n}{x_k - x_n} x_n + y_k \right|}{r_{\min} \sqrt{\left(\frac{y_k - y_n}{x_k - x_n} \right)^2 + 1}}. \quad (2)$$

Абсолютная скорость датчика V_i состоит из двух составляющих: относительной радиальной V_{rad} и относительной окружной $V_{окр}$ скоростей:

$$V_i = \sqrt{V_{окр}^2 + V_{rad}^2} = \sqrt{(l_i \cdot \omega_i)^2 + V_{rad}^2}. \quad (3)$$

где V_{rad} определяется путем дифференцирования линейной координаты по времени:

$$V_{rad} = \frac{dl_i}{dt} = \omega_i l_i \operatorname{tg} \left(\varphi_i - \operatorname{arctg} \left(-\frac{x_k - x_n}{y_k - y_n} \right) \right), \quad (4)$$

где ω_i – угловая скорость лазерного датчика.

Преобразовав формулу (3) с учетом (4), получено:

$$V_i = \omega_i l_i \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \left(\varphi_i - \operatorname{arctg} \left(-\frac{x_k - x_n}{y_k - y_n} \right) \right)}. \quad (5)$$

Исходя из формул (4), (5) с учетом [9] получены формулы для определения частоты двигателей, отвечающих за круговое и линейное перемещение датчика, $n_{\partial 1}$ и $n_{\partial 2}$:

$$n_{\partial 1} = n_i / \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right) = 30 V_i / \pi l_i \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1} \right) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \left(\varphi_i - \operatorname{arctg} \left(-\frac{x_k - x_n}{y_k - y_n} \right) \right)}, \quad (6)$$

$$n_{\partial 2} = 2\pi V_{rad} / S_{винт} = 60 V_i \sqrt{1 - \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \left(\varphi_i - \operatorname{arctg} \left(-\frac{x_k - x_n}{y_k - y_n} \right) \right)^2}} / S_{винт}, \quad (7)$$

где $S_{винт}$ – шаг ходового винта, мм; Z_1 – количество зубьев сателлита 1; Z_2 – количество зубьев опорного колеса 2.

Результаты

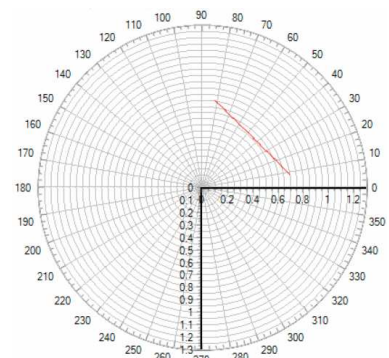
Для реализации математической модели выбрана среда моделирования SimInTech [10], в которой были реализованы приведенные математические вычисления через совокупность двух модулей: модуля управления и панели управления. Панель управления представлена на рисунке 3 и включает в себя исходные данные для моделирования.

При моделировании принято допущение о том, что вращение осуществляется против часовой стрелки и датчик изначально установлен в начальное положение.

Расчет линейной координаты в зависимости от угловой, а также вычисление зависимости частот вращения двигателей от угловой координаты выполнен с помощью блоков на схеме модели общего вида (рис. 4).

Задайте минимальный радиус сканирования(rmin), м:	0.15
Задайте максимальный радиус сканирования(rmax), м:	1.1
Введите абсциссу т.К (xk) в пределах [-1.1;1.1]:	0.7
Введите ординату т.К (yk) в пределах [-0.84;0.84]:	0.1
Введите абсциссу т.N (xn) в пределах [-1.1; 1.1]:	0.1
Введите ординату т.N (yn) в пределах [-1.09 ; 1.09]: , кроме {-0.1±0.11}	0.7
Введите значение скорости датчика	0.8
Введите количества зубьев: спутника z1 и опорного колеса Z2	16 48
Введите шаг ходового винта	2

а



б

Рис. 3. Исходные данные: а) панель управления, б) траектория движения датчика в полярных координатах

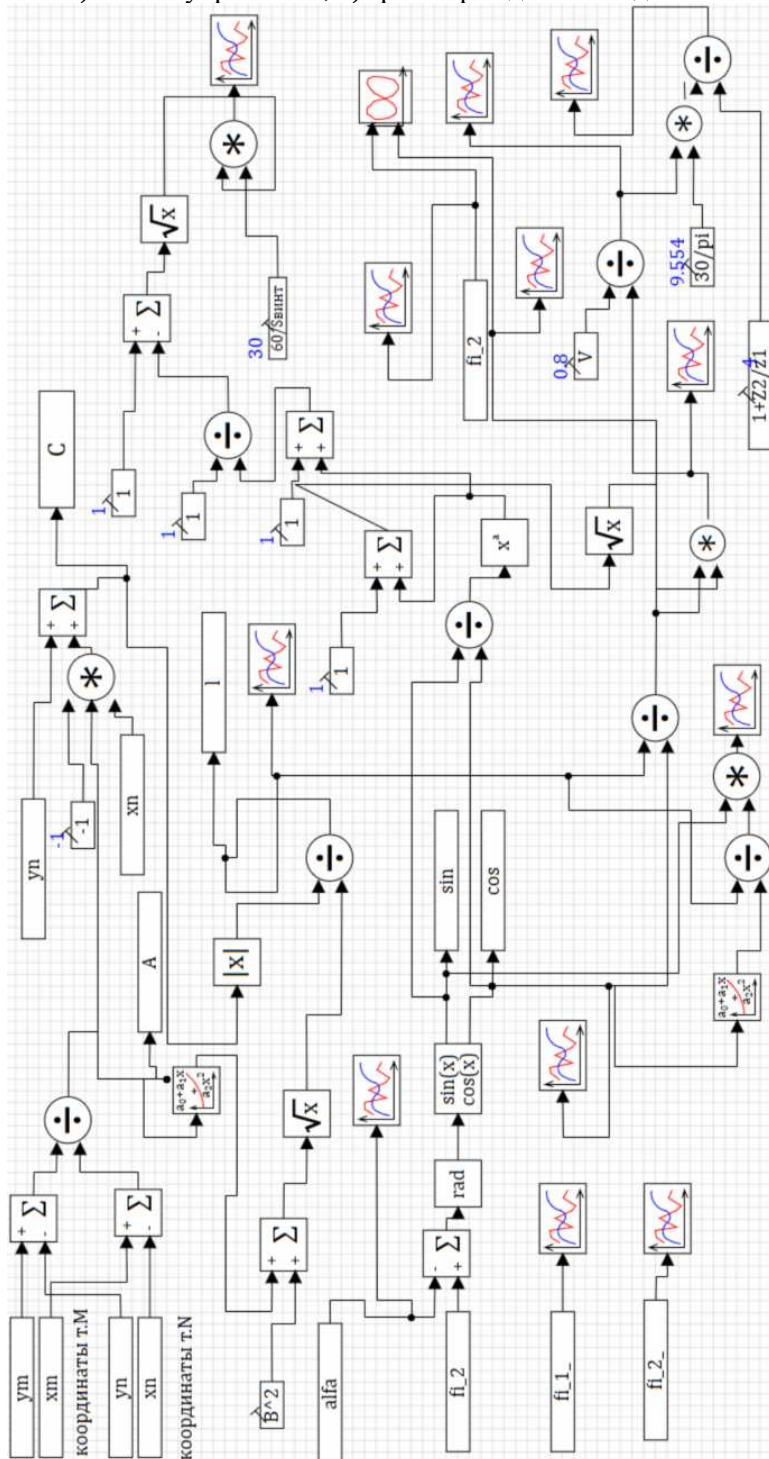


Рис. 4.Схема модели общего вида

В результате при исходных конструктивных параметрах профилографа и заданных значений координат точек и скорости согласно рисунку 3 получены графики зависимости частот вращения $n_{\partial 1}$, $n_{\partial 2}$ от угловой координаты φ : (рис. 5).

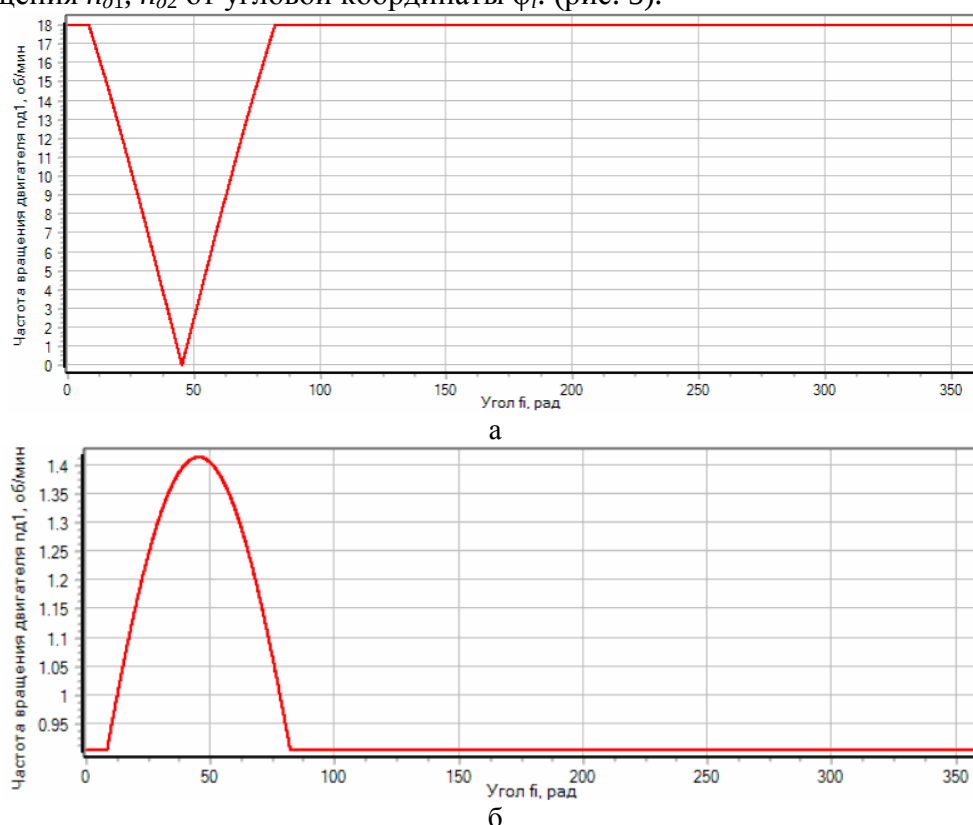


Рис. 5. График зависимости частот вращения от угловой координаты: а) двигателя $n_{\partial 1}$, б) двигателя $n_{\partial 2}$

Судя по графикам (рис. 5) можно сделать выводы, что для обеспечения постоянства абсолютной скорости измерительного датчика 0,8 м/с с заданными исходными значениями, значение частоты вращения $n_{\partial 1}$ должно сначала пропорционально уменьшаться с 18 об/мин до 0, а $n_{\partial 2}$ изменяться по параболе с диапазоном изменения от 0,91 об/мин до 1,41 об/мин.

Заключение

По результатам проведенных исследований установлено, что равномерное движение датчика по прямолинейной траектории может быть обеспечено за счет установленного вращения двигателей. Результаты моделирования профилографа подтверждают возможность использования прямолинейного движения с целью уменьшения инерционных нагрузок и исключения ударов для переключения между штатными движениями датчика по круговым траекториям профилографа. Моделирование в SimInTech позволило проверить правильность построения математической модели, которая может применяться в приборах со схожей конструкцией и с другими габаритными размерами.

Список литературы

1. Рзаева В.В., Киселева Т.С., Фисунов Н.В. Агротехнический бракераж в земледелии. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – 140 с.
2. Шмидт А.Н., Овчинников Е.В., Шонов А.Е. Способы обработки почв подверженных ветровой эрозии // Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции «Новая наука: История становления, современное состояние, перспективы развития». – Уфа: ООО «Агентство международных исследований», 2018. – С. 86-88.
3. Трубицын Н.В., Тарковский В.Е. Беспроводное устройство для измерения глубины хода рабочих органов сельскохозяйственных машин // Техника и оборудование для села. – 2019. – №3. – С. 13-17. – doi.org/10.33267/2072-9642-2019-3-13-15.
4. Фисун М.Н., Егорова Е.М. Условия микрорельефа в системе прецизионного виноградарства // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: материалы IV Международной научно-практической интернет-конференции. –

с. Соленое Займище: ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук», 2019. – С. 367-370. – doi.org/10.26150/PAFNC.2019.45.557-1-074.

5. Киреев И.М., Коваль З.М. Метод и система контроля величины заглубления рабочих органов в почву // Наука в центральной России. – 2019. – №2(38). – С. 14-22.
6. Калинин А.Б., Устроев А.А. Теоритические предпосылки и практические приемы рациональной системы обработки почвы в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – №90. – С. 70-78.
7. Патент №2770800 РФ. Полевой мехатронный профилограф / С.А. Васильев, Р.И. Александров, А.А. Федорова, М.В. Васильев, С.А. Мишин, С.Е. Лимонов, В.В. Алексеев, И.Н. Иванов. – Заявка №2021113237 от 06.05.2021; опубл. 21.04.2022, Бюл. №12.
8. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. Измерение волнистости поверхности мехатронным профилографом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2021. – №4(60). – С. 83-93. – doi.org/10.21685/2072-3059-2021-4-7.
9. Федорова А.А. Кинематический анализ мехатронного профилографа // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2022. – №10. – С. 11-13. – doi.org/10.26160/2541-8637-2022-10-11-13.
10. Афоничев Д.Н., Лощенко А.В, Пиляев С.Н. Моделирование микропрофиля пути с помощью программного комплекса SimInTech // Актуальные направления научных исследований для эффективного развития АПК: Материалы международной научно-практической конференции (Воронеж, 27 марта 2020 г.). – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – С. 268-277.

References

1. Rzaeva V.V., Kiseleva T.S., Fisuno N.V. Agrotechnical bracketing in agriculture. – Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals, 2023. – 140 p.
2. Schmidt A.N., Ovchinnikov E.V., Shonov A.E. Methods of processing soils subject to wind erosion // Collection of articles on the results of the International scientific and practical Conference "New science: History of formation, current state, development prospects". – Ufa: LLC "Agency for International Studies", 2018. – P. 86-88.
3. Trubitsyn N.V., Tarkivskiy V.E. A wireless device for measuring the depth of stroke of working bodies of agricultural machines // Machinery and equipment for rural areas. 2019, no. 3, pp. 13-17. – doi.org/10.33267/2072-9642-2019-3-13-15.
4. Fisun M.N., Egorova E.M. Microrelief conditions in the precision viticulture system // The current ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational use of natural resources: proceedings of the IV International Scientific and Practical Internet Conference. – v. Solenoe Zaimische: FGBNU "Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", 2019. – P. 367-370. – doi.org/10.26150/PAFNC.2019.45.557-1-074.
5. Kireev I.M., Koval Z.M. Method and system for controlling the depth of the working organs in the soil // Science in central Russia. 2019, no. 2(38), pp. 14-22.
6. Kalinin A.B., Ustroev A.A. Theoretical background and practices of rational soil tillage as a part of farm crops cultivation technologies // Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock production. 2016, no. 90, pp. 70-78.
7. Patent No. 2770800 RU. Field mechatronic profilograph / S.A. Vasiliev, R.I. Alexandrov, A.A. Fedorova, M.V. Vasiliev, S.A. Mishin, S.E. Limonov, V.V. Alekseev, I.N. Ivanov. – Appl. No. 2021113237 from 06.05.2021; publ. 21.04.2022, Bul. No. 12.
8. Fedorova A.A., Vasiliev M.A., Vasiliev S.A. Measurement of surface waviness using a mechatronic profilograph // News of higher educational institutions. Volga region. Technical sciences. 2021, no. 4(60), pp. 83-93. doi.org/10.21685/2072-3059-2021-4-7.
9. Fedorova A.A. Kinematic analysis of a mechatronic profiler // Mechatronics, automation and robotics. 2022, no. 10, pp. 11-13. doi.org/10.26160/2541-8637-2022-10-11-13.
10. Afonichev D.N., Loshchenko A.V., Pilyaev S.N. Modeling the microprofile of a path using the SimInTech software package // Current research directions for the effective development of the agro-industrial complex: Proceedings of the International scientific and practical conference (Voronezh, March 27, 2020). – Part II. – Voronezh: Voronezh SAU, 2020. – P. 268-277.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Федорова Алена Анатольевна – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения	Fedorova Alena Anatolyevna – senior lecturer at the Department of mechanical engineering technology
Першуткин Никита Викторович – студент	Pershutkin Nikita Viktorovich – student
Марков Сергей Витальевич – студент	Markov Sergey Vitalievich – student
Лебедев Александр Вадимович – студент	Lebedev Aleksandr Vadimovich – student
e_a_a@mail.ru	

Получена 11.04.2025