10. Curikov S. V., Sviridenko D. I. Rynok innovacionnoj produkcii: tendencii razvitiya, nacional'nye osobennosti, mehanizm razvitiya // Sibirskaya finansovaya shkola. 2013. № 6 (101). S. 96-105.

11. Rutherford J. J. Technology transfer // IEEE Eng Med Biol Mag. 2010. № 29 (2). P. 12-16.

12. Wandersman A., Chien V. H., Katz J. Toward an evidence-based system for innovation support for implementing innovations with quality: tools, training, technical assistance, and quality assurance/quality improvement // Am J Community Psychol. 2012. № 50 (3-4). P. 445-459.

Authors Information

Slabunov Vladimir Viktorovich, kandidat tekhnicheskikh nauk, vedushchij nauchnyj so-trudnik otdela normativno-metodicheskogo obespecheniya – FGBNU «Rossijskij nauchno-issledovatel'skij institut problem melioracii» (346421, Rostovskaya oblast', g. Novocherkassk, pr-kt Baklanovskij, 190/1), tel. +7 (989) 626-24-95; ORCID: 0000-0003-0150-5193; e-mail: slabunovvv@mail.ru.

Kirilenko Andrey Andreevich, mladshij nauchnyj sotrudnik otdela normativno-metodicheskogo obespecheniya – FGBNU «Rossijskij nauchno-issledovatel'skij institut problem melioracii» (346421, Rostovskaya oblast', g. Novocherkassk, pr-kt Baklanovskij, 190/1), tel. +7 (928) 133-78-65; ORCID: 0000-0003-2868-3774; e-mail: andreykirilenko96@mail.ru.

Voevodin Oleg Vladimirovich, kandidat sel'skohozyajstvennykh nauk, vedushchij nauchnyj sotrudnik otdela normativno-metodicheskogo obespecheniya – FGBNU «Rossijskij nauchno-issledovatel'skij institut problem melioracii» (346421, Rostovskaya oblast', g. Novocherkassk, pr-kt Baklanovskij, 190/1), tel. +7 (951) 538-68-45; ORCID: 0000-0003-1098-2979.

Информация об авторах

Слабунов Владимир Викторович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела нормативно-методического обеспечения – ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр-кт Баклановский, 190/1), тел. +7 (989) 626-24-95; ORCID: 0000-0003-0150-5193; e-mail: slabunovvv@mail.ru.

Кириленко Андрей Андреевич, младший научный сотрудник отдела нормативно-методического обеспечения – ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр-кт Баклановский, 190/1), тел. +7 (928) 133-78-65; ORCID: 0000-0003-2868-3774; e-mail: andreykirilenko96@mail.ru.

Воеводин Олег Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела нормативно-методического обеспечения – ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр-кт Баклановский, 190/1), тел. +7 (951) 538-68-45; ORCID: 0000-0003-1098-2979.

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-48

SIMULATION OF THE OPERATION OF A SPRING WORKING PART OF STRIGELNY HARROW BASED ON OPTIMIZATION OF TRANSVERSE VIBRATION ZONES

A.N. Chernyavsky, I.B. Borisenko, K.E. Tokarev

¹Volgograd State Agrarian University

Received 05.04.2021

Submitted 09.06.2021

Acknowledgments: *The research was conducted as a part of the grant of the President of the Russian Federation MK-592.2020.11.*

Abstract

Introduction. The article discusses the modeling of the operation of the spring working part of the harrow based on the optimization of the zone of lateral vibrations. The studies carried out have shown that the efforts at which the stalks of winter wheat were cut off when pulling it out of the soil and the efforts when pulling a plant out of the soil at different indicators of moisture and plant development are different. **Object.** A spring tooth, in which the working part has a radius of curvature of 60 mm. **Materials and methods.** According to the model of the process of removing weed seedlings, the spring working part must cope with the resistance, excluding longitudinal bending, when it encounters a significant obstacle, it deflects to

the side or rises. To reduce the damage to the cultivated crop when deepening the working part with a radius of curvature of 60 mm, the instability in the transverse plane will be reduced due to the larger area of contact of the tooth with the soil. **Results and conclusions.** The result of studies to optimize the zone of lateral vibrations was a change in the geometric shape of the working part, which made it possible to reduce the damage to crops during cultivation and to increase bio-productivity.

Key words: *spring tooth, strigelnny harrow, radius of curvature, design parameters, forced vibrations.*

Citation. Chernyavsky A.N., Borisenko I.B., Tokarev K.E. Simulation of the operation of a spring working part of strigelnny harrow based on optimization of transverse vibration zones. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 2(62). 482-489 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-48.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРУЖИННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ШТРИГЕЛЬНОЙ БОРОНЫ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ЗОНЫ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ

А. Н. Чернявский, старший преподаватель

И. Б. Борисенко, доктор технических наук, старший научный сотрудник

К. Е. Токарев, доцент

Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 05.04.2021

Дата принятия 09.06.2021

*Исследование проводилось в рамках гранта Президента Российской Федерации
МК - 592.2020.11*

Актуальность. В статье рассматривается моделирование работы пружинного рабочего органа штригельной бороны на основе оптимизации зоны поперечных колебаний. Проведенные исследования показали, что усилия, при которых происходило обрывание стеблей озимой пшеницы при выдергивании ее из почвы и усилия при выдергивании растения из почвы при различных показателях влажности и развитости растения, различны. **Объект.** Пружинный зуб, у которого рабочая часть имеет радиус кривизны 60 мм. **Материалы и методы.** Согласно модели процесса удаления всходов сорных растений, пружинный рабочий орган должен справляться с сопротивлением исключая продольный изгиб, при встрече значительного препятствия отклоняется в сторону или приподнимается. Для уменьшения повреждаемости возделываемой культуры при заглублении рабочего органа, имеющего радиус кривизны 60 мм, неустойчивость в поперечной плоскости будет уменьшена за счет большей площади соприкосновения зуба с почвой. **Результаты и выводы.** Результатом исследований по оптимизации зоны поперечных колебаний явилось изменение геометрической формы рабочего органа, что позволило уменьшить повреждаемость культур при возделывании и повысить биопродуктивность.

Ключевые слова: *пружинный зуб, штригельные бороны, радиус кривизны, конструктивные параметры бороны, вынужденные колебания.*

Цитирование. Чернявский А. Н., Борисенко И. Б., Токарев К. Е. Моделирование работы пружинного рабочего органа штригельной бороны на основе оптимизации зоны поперечных колебаний. *Известия НВ АУК.* 2021. 2(62). 482-489. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-48.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. По данным различных исследований [1, 2, 3, 4], бороны с пружинными зубьями являются наиболее оптимальными для обработки всходов, а также сохранения стерни. Так, во время эксплуатации штригельной бороны возделываемые культуры извлекают из почвы больше влаги.

Дополнительным положительным результатом использования бороновальных агрегатов с пружинными рабочими органами является тенденция снижения затрат на средства для химической прополки [5]. Механические средства уничтожения сорных растений, в том числе использование штригельной бороны, является более перспективным в целях экономии средств [6]. Перспективным направлением повышения продуктивности сельскохозяйственного производства является исследование проблем влияния боронования на урожайность возделываемых культур [7, 8].

Недостатком борон с пружинными рабочими органами является повышенная повреждаемость озимых культур. Такая повреждаемость появляется при весеннем бороновании в результате появляющихся значительных колебаний [9]. Они возникают в нижней части рабочего органа в поперечной области.

Материалы и методы.

В ходе исследования получены данные, помогающие решить вопрос создания формы пружинного зуба, уменьшающей повреждаемость возделываемой культуры, а также решить проблему повышения технологической эффективности работы штригельной бороны для весеннего закрытия влаги и после всходовой обработки путем конструктивного обоснования параметров [10].

Схема сил, действующих на пружинный зуб в почве, представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Схема сил, действующих на пружинный зуб

Figure 1 – Diagram of the forces acting on the spring tooth

В ходе экспериментальных исследований были получены результаты, которые показали усилия, при которых происходило обрывание стеблей озимой пшеницы при выдергивании ее из почвы (таблица 1) и выдергивании самого растения из почвы (таблица 2), учитывающие степень развития ростка озимой пшеницы и влажность почвы.

Таблица 1 – Прикладываемые усилия для обрывания стеблей при выдергивании озимой пшеницы, Н

Table 1 – Applied efforts to break off the stems, when pulling out winter wheat, N

Степень развития ростка / the degree of development of the sprout	Влажность почвы, % / Soil moisture content, %		
	12,8	14,28	16,02
Прикладываемые усилия, Н / N			
Слабые / Weak ones	3,3	2,8	2,5
Средние / Medium	14,6	14,5	14,1
Сильные / Strong ones	31,8	31,7	31,3

По полученным данным построена диаграмма зависимостей прикладываемых усилий для обрывания стеблей при выдергивании озимой пшеницы (рисунок 2).

Рисунок 2 – Диаграмма зависимости, прикладываемых усилий для отрывания стеблей при выдергивании озимой пшеницы

Figure 2 – Diagram of the dependence of the effort applied to tear off the stems when pulling winter wheat

Таблица 2 – Прикладываемые усилия при выдергивании озимой пшеницы из почвы, Н

Table 2 – Applied forces when pulling winter wheat from the soil, N

Степень развития ростка / the degree of development of the sprout	Влажность почвы, % / Soil moisture content, %		
	12,8	14,28	16,02
Прикладываемые усилия, Н / N			
Слабые / Weak ones	43	42,7	42,2
Средние / Medium	78,6	78,7	78,3
Сильные / Strong ones	112,4	111,4	111,5

По результатам исследований зависимости прикладываемых усилий при выдергивании озимой пшеницы из почвы при определенной влажности и развитости возделываемой культуры была построена диаграмма (рисунок 3).

Рисунок 3 – Диаграмма зависимости прикладываемых усилий при выдергивании озимой пшеницы из почвы

Figure 3 – Diagram of the dependence of the applied forces when pulling winter wheat from the soil

Таким образом, согласно полученным экспериментальным исследованиям, значительный объем сорных растений уничтожается при усилии до 30 Н, что относительно обрывания стеблей озимой пшеницы в 32 раза меньше, а усилия выдергивания озимой пшеницы – в 115 раз меньше. Согласно модели процесса удаления всходов сорных растений, пружинный рабочий орган должен справляться с сопротивлением исключая продольный изгиб, при встрече значительного препятствия (росток пшеницы) отклоняется в сторону или приподнимается.

Результаты и обсуждение.

В ходе исследования проведено экспериментальное моделирование работы рабочего органа (пружинного зуба), который состоит из стержневой, монтажной (выполненной с наклоном вперед) и рабочей части (изогнутой в продольно-вертикальной плоскости по радиусу). Недостатками известных технических решений [1, 2, 3, 4] являются повышенные энергетические затраты при весеннем бороновании из-за повышенных колебаний рабочей части в поперечно-продольной плоскости относительно экспериментального зуба.

Решением поставленной задачи является уменьшение зоны поперечных колебаний в нижней части рабочего органа, где находится поперечная плоскость (патент РФ № 2455810). Такое требование применимо для условий эксплуатации в процессе резания при деформации почвы.

Предлагается изготовление рабочей части, изогнутой по радиусу с режущей гранью, изготовление изогнутой по радиусу рабочей части с режущей гранью в продольно-вертикальной плоскости, а также прохождение режущей грани через осевую линию зуба.

На рисунке 4 представлен экспериментальный пружинный зуб бороны.

Рисунок 4 – Пружинный зуб бороны (1 – монтажная часть; 2 – стержневая часть; 3 – рабочая часть)

Figure 4 – Spring tooth of the harrow (1-mounting part; 2-rod part; 3-working part)

Рабочая часть зуба имеет радиус кривизны 60 мм и режущую грань (рисунок 5). Режущая грань находится в продольно-вертикальной плоскости (патент РФ № 2561533). Продольно-вертикальная плоскость проходит через осевую грань зуба.

Рисунок 5 – Режущая грань (сечение A-A)

Figure 5 – Cutting edge (section A-A)

Согласно агротехническим требованиям к боронованию (СТО АИСТ 10 4.6-2003), зубовые бороны, как правило, подвержены забиванию сорной растительностью и нарушению целостности при наезде на камни. Рабочие органы пружинных борон при колебаниях в продольной оси снижают забиваемость, но могут иметь значительные колебания в поперечной плоскости, что влечет за собой большую травмированность культурных растений при повсходовом бороновании. Имея подобные последствия, прослеживаемые в работе этих борон, можно предложить решение проблемы, используя экспериментальный рабочий орган: пружинный зуб штригельной бороны, у которого имеется радиус кривизны 60 мм, находящийся в продольно-вертикальной плоскости.

Рисунок 6 – Крайние и промежуточное положения зуба штригельной бороны

Figure 6 – Extreme and intermediate positions of the tooth of the strigelnny harrow

Рабочая часть с радиусом кривизны 60 мм сконструирована с острой гранью. Эта грань находится в продольно-вертикальной оси и проходит по всей линии зуба.

При эксплуатации пружинной бороны предварительно устанавливается необходимый угол наклона зуба. Глубина обработки регулируется с помощью опорных колес.

Пружинный зуб бороны может применяться как самостоятельный рабочий орган орудия, а также являться составным элементом в комбинированных агрегатах. Результатом применения экспериментального пружинного зуба штригельной бороны является улучшение эксплуатационно-энергетических показателей МТА.

Выводы. В ходе проведенных экспериментальных исследований по моделированию работы пружинного рабочего органа штригельной бороны на основе оптимизации зоны поперечных колебаний получены следующие результаты: определены усилия, при которых происходило обрывание стеблей озимой пшеницы при выдергивании ее из почвы для различных показаний влажности почвы и развитости растений, а также усилия выдергивания самого растения из почвы при различных показаниях влажности почвы и развитости растений. Исходя из моделирования работы пружинного рабочего органа при избирательном удалении ростков различных растений, пружинному зубу необходимо сгибаться и огибать препятствие. При определении степени изгиба зуба важным является радиус кривизны. Очевидно, что в целях минимизации травмированности возделываемой культуры радиус кривизны зуба при отклонении в поперечной плоскости рекомендуется брать до 60 мм.

Библиографический список

1. Борисенко И. Б., Цепляев А. Н., Плескачев Ю. Н. Технология основной обработки почвы и оборудование для ее выполнения // Научная жизнь. 2016. № 2. С. 65-74.
2. Влияние движителей машинно-тракторных агрегатов на опорное основание / С. И. Камбулов, В. Б. Рыков, В. В. Колесник, И. В. Божко // Научная жизнь. 2018. № 10. С. 32-40.
3. Камбулов С. И., Рыков В. Б., Камбулов И. А. Исследования влагообеспеченности обрабатываемого слоя почвы // Научная жизнь. 2017. № 8. С. 15-21.
4. Несмиян А.Ю., Кувшинова Е.К. Потребительские характеристики орудий для рыхления почвы и заделки стерни // Вестник аграрной науки Дона. 2018. № 4. С. 5-10.
5. Сергунцов А. С. Боронование посевов с одновременной подкормкой // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (72). С. 172-175.
6. Трубилин Е. И., Белоусов С. В., Лепшина А. И. Основная обработка почвы с оборотом пласта в современных условиях работы и устройства для ее осуществления // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2019. № 104. С. 1902-1922.
7. Трубилин Е. И., Дробот В. А. Повышение качества мелкой обработки почвы горизонтально расположенными дисковыми рабочими органами // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2016. № 118. С. 75-86.
8. Трубилин Е. И., Абаев В. В., Маслов Г. Г. Стратегические направления уборки зерновых колосовых на Кубани // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2011. № 70. С. 203-213.
9. Analysis of promising methods of irrigation and melioration techniques of crops in arid climate / K. E. Tokarev // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 488(1). www.scopus.com
10. The optimum geometrical form modeling of the "Striegel" type harrow / A. S. Ovchinnikov [et al.] // V. I. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. No 23. P. 9138-9144.

Conclusions. In the course of experimental studies on modeling the operation of the spring working body of a strigely harrow based on the optimization of the transverse vibration zone, the following results were obtained: the forces at which the stems of winter wheat were torn off when pulling it out of the soil for different indications of soil moisture and plant development, as well as the forces of pulling the plant itself out of the soil, for different indications of soil moisture and plant development, were determined. Based on the simulation of the operation of the spring working organ during the selective removal of sprouts of various plants, the spring tooth must bend and bend around the obstacle. When determining the de-

gree of bending of the tooth, the radius of curvature is important. It is obvious that in order to minimize the injury of the cultivated crop, the radius of curvature of the tooth with a deviation in the transverse plane is recommended to take up to 60 mm.

References

1. Borisenko I. B., Tseplyaev A. N., Pleskachev Yu. N. Technology of basic tillage and equipment for its implementation // Scientific life. 2016. No. 2. P. 65-74.
2. Influence of movers of machine-tractor units on the support base / S. I. Kambulov, V. B. Rykov, V. V. Kolesnik, I. V. Bozhko // Scientific life. 2018. No. 10. P. 32-40.
3. Kambulov S. I., Rykov V. B., Kambulov I. A. Studies of the moisture supply of the treated soil layer // Scientific life. 2017. No. 8. P. 15-21.
4. Nesmian A. Yu., Kuvshinova E. K. Consumer characteristics of tools for loosening the soil and sealing stubble // Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2018. No. 4. P. 5-10.
5. Serguntsov A. S. Harrowing of crops with simultaneous top dressing // Izvestiya Orenburg state Agrarian University. 2018. No. 4 (72). P. 172-175.
6. Trubilin E. I., Belousov S. V., Lepshina A. I. Basic soil treatment with reservoir turnover in modern working conditions and devices for its implementation // Polythematic network electronic scientific journal of KubGAU. 2019. № 104. P. 1902-1922.
7. Trubilin E. I., Drobot V. A. Improving the quality of shallow tillage with horizontally arranged disk working bodies // Polythematic network electronic scientific journal of KubGAU. 2016. No. 118. P. 75-86.
8. Trubilin E. I. Abaev V. V., Maslov G. G. Strategic direction of the grain harvest of grains in the Kuban // Polythematic network electronic scientific journal of Kubsau. 2011. No. 70. P. 203-213.
9. Analysis of promising methods of irrigation and melioration techniques of crops in arid climate / K. E. Tokarev // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 488(1). www.scopus.com
10. The optimum geometrical form modeling of the "Striegel" type harrow / A. S. Ovchinnikov [et al.] // V. I. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. No 23. P. 9138-9144.

Author information:

Chernyavsky Alexey Nikolaevich, Senior Lecturer of the Department "Electrical Equipment and Electrical Equipment of Agricultural Enterprises", Volgograd State Agrarian University (26, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation), tel. 8 (8442) 41-11-27, e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru.

Borisenko Ivan Borisovich, Chief Researcher, Professor of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskiy Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation), Doctor of Technical Sciences, Honored Inventor of the Russian Federation, tel. 8 (8442) 41-12-48, e-mail: borisenivan@yandex.ru.

Tokarev Kirill Evgenievich, associate Professor of the Department of Mathematical modeling and computer science, Volgograd State Agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), tel. 8 (8442) 41-17-10, e-mail: tke.vgsha@mail.ru.

Информация об авторах

Чернявский Алексей Николаевич, старший преподаватель кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий АПК», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), тел. 8 (8442) 41-11-27, e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru.

Борисенко Иван Борисович, главный научный сотрудник, профессор кафедры «Земледелие и агрохимия», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), доктор технических наук, Заслуженный изобретатель РФ, тел. 8 (8442) 41-12-48, e-mail: borisenivan@yandex.ru.

Токарев Кирилл Евгеньевич, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), тел. 8 (8442) 41-17-10, e-mail: tke.vgsha@mail.ru.