

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОЙ S-ОБРАЗНОЙ СТОЙКИ КУЛЬТИВАТОРА

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ELASTIC S-SHAPED CULTIVATOR RACK

С.Е. ФЕДОРОВ, к.т.н.
М.Н. ЧАТКИН, д.т.н.
А.А. ЖАЛНИН
Н.А. ЖАЛНИН

Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н.П. Огарева,
seregafedorov1989@mail.ru

S.E. FEDOROV, PhD in Engineering
M.N. CHATKIN, DSc in Engineering
A.A. ZHALNIN
N.A. ZHALNIN

N.P. Ogarev Mordovia State University,
seregafedorov1989@mail.ru

Культиваторные лапы на упругих стойках при работе имеют отклонение от установленной глубины обработки на 10–15 % больше, чем при жесткой подвеске и не сохраняют оптимальную геометрию резания. С увеличением скорости и глубины обработки тяговое сопротивление и отклонение лапы от заданной глубины обработки увеличиваются. Поэтому для обеспечения качества и эффективности работы комбинированного культиватора, оснащенного упругими S-образными стойками, необходимо изменять жесткость стоек. Цель исследования – повышение качества и снижение энергозатрат поверхностной обработки почвы путем регулирования и оптимизации жесткости упругой стойки культиватора. Для изучения работы упругой S-образной стойки использовался метод полного факторного эксперимента, позволивший получить математические модели с учетом выбранных контролируемых факторов. За контролируемые переменные принимали факторы, характеризующие свойства работы упругой S-образной стойки и имеющие определенные численные значения. В ходе исследования изучалось влияние глубины обработки, скорости агрегата и жесткости стойки на тяговое сопротивление и отклонения лапы. Результаты исследований показали, что при увеличении глубины обработки от 0,04 до 0,12 м при скорости 3 м/с тяговое сопротивление S-образной стойки возрастет с 105 до 670 Н. Следует заметить, что увеличение жесткости стойки с 6226 до 21815 Н/м приводит к снижению тягового сопротивления на 100 Н. С увеличением глубины обработки и скорости агрегата отклонение носка лапы увеличивается. При увеличении жесткости стойки отклонение носка лапы уменьшается. Максимальное отклонение наблюдается при скорости 3 м/с, глубине 0,12 м, жесткости стойки 6826 Н/м. В результате исследования для выполнения агротехнических требований при поверхностной обработке почвы предложено установить в конструкцию упругой S-образной стойки регулятор жесткости.

Ключевые слова: комбинированный культиватор, тяговое сопротивление, упругая стойка, регулятор, жесткость.

Cultivating paws on elastic struts at work have a deviation from the established depth of processing by 10–15 % more than with a rigid suspension and do not preserve the optimal cutting geometry. With increasing speed and depth of treatment, tractive resistance and deflection of the paw from a given depth of processing increase. Therefore, to ensure the quality and efficiency of the combined cultivator equipped with elastic S-shaped struts, it is necessary to change the rigidity of the racks. The purpose of the study is to improve the quality and reduce the energy consumption of surface tillage by regulating and optimizing the rigidity of the elastic strut of the cultivator. To study the work of the elastic S-pillar, the method of full factorial experiment was used, which allowed obtaining mathematical models, taking into account the selected controlled factors. For the controlled variables, the factors characterizing the work properties of the elastic S-pillar and having certain numerical values were taken. In the course of the study, the influence of the depth of treatment, the speed of the aggregate and the stiffness of the strut on the traction resistance and the deviation of the paw was studied. The results of the research showed that with an increase in processing depth from 0,04 m to 0,12 m at a speed of 3 m/s, the traction resistance of the S-pillar will increase from 105 N to 670 N. It should be noted that increasing the stiffness of the rack from 6226 N/m to 21815 N/m leads to a reduction in traction resistance by 100 N. With increasing depth of processing and speed of the unit – the deviation of the toe of the paw increases. With increasing stiffness of the stand, the deviation of the toe of the paw decreases. The maximum deviation is observed at a speed of 3 m/s, a depth of 0,12 m, rigidity of the rack 6826 N/m. As a result of the study, in order to fulfill the agrotechnical requirements for surface tillage, it is proposed to install a stiffness regulator in the design of the elastic S-bar.

Keywords: combined cultivator, tractive resistance, elastic rack controller, stiffness.

Введение

В настоящее время необходимо улучшать способы и системы поверхностной обработки почвы, использовать более совершенные сельскохозяйственные машины [1]. К ним относятся комбинированные машины и агрегаты, эксплуатация которых повышает качество выполнения технологических операций обработки почвы, сокращает число проходов по полю, потери времени на холостые проходы и заезды, денежные и трудовые затраты, увеличивает производительность труда [2].

Значительный интерес представляют исследования современных комбинированных культиваторов, оснащенных упругими стойками. Рабочие органы на упругих стойках, встречая в процессе работы переменное сопротивление почвы, совершают вынужденные колебания. Это приводит к улучшению качества крошения почвы и снижению тягового сопротивления [3]. Однако лапы на упругой подвеске при работе имеют отклонение от установленной глубины обработки на 10–15 % больше, чем при жесткой подвеске, и не сохраняют оптимальную геометрию резания [4].

Поэтому поиски научно-обоснованных путей решения задач повышения эффективности работы агрегатов для поверхностной обработки почвы, культиваторами с упругими стойками являются актуальными.

Цель исследования

Повышение качества и снижение энергозатрат поверхностной обработки почвы путем регулирования и оптимизации жесткости упругой стойки культиватора.

Материалы и методы

За объект исследования выбрана упругая S-образная стойка культиватора. Рабочий орган на упругой S-образной стойке взаимодействует с обрабатываемой средой – почвой. В процессе ее разрушения возникают реакции и моменты сопротивления, которые при лабораторных исследованиях являются выходными параметрами. Определяющими факторами работы упругой S-образной стойки являются материал, форма и размеры ее сечения, глубина обработки, скорость, жесткость стойки и др. Для изучения работы S-образной стойки нами принят метод полного факторного эксперимента, позволяющий получить математическую

модель с учетом выбранных контролируемых параметров.

За параметры оптимизации Y_i работы упругой S-образной стойки приняли тяговое усилие и отклонение носка лапы от заданной глубины обработки [5].

Тяговое усилие и отклонение от заданной глубины обработки как параметры оптимизации соответствуют следующим требованиям:

- их значения изменяются при любом изменении факторов работы S-образной пружинной стойки в почве;
- это статистически эффективные параметры, т.е. измеряются с наибольшей точностью, что позволяет сократить до минимума повторность опытов.

За контролируемые переменные принимали факторы, характеризующие свойства работы упругой S-образной стойки и имеющие определенные численные значения, для которых вводили следующие обозначения: h – глубина обработки, м (x_1); V – скорость движения стойки, м/с (x_2); $K_{жест}$ – жесткость стойки, кН/м (x_3).

При определении величин количественных оценок во внимание принимали только те факторы, которые влияют на работу упругой S-образной стойки.

Интервал варьирования факторов x_1 , x_2 обуславливался агротехническими требованиями к предпосевной обработке почвы, энергетическими и скоростными характеристиками трактора. Границу изменения фактора x_3 определяли по результатам проведения пассивного эксперимента.

Связь параметров оптимизации с факторами рабочего процесса в общем виде запишется:

$$P_{тяг}; \Delta H = f(h, V, K_{жест}, \dots).$$

Выбранные факторы рабочего процесса отвечают следующим требованиям:

- все факторы управляемые, т.е. позволяют устанавливать требуемое значение и поддерживать его постоянным в течение опыта;
- для всех факторов выполняются условия совместимости, т.е. такое условие, при котором возможное их взаимное влияние не вызывает нарушения работы упругой S-образной стойки в почве;
- все факторы независимые, т.е. обладают возможностью их установки на любом уровне независимо от уровней других факторов;
- все факторы однозначны, т.е. не являются функцией других;

– все факторы непосредственно воздействуют на параметр оптимизации;

– точность установления граничных значений факторов максимально высокая.

При проведении многофакторного эксперимента по определению рациональных режимов работы упругих S-образных стоек в почве приняли факторы и уровни их варьирования, приведенные в табл. 1.

Сочетание факторов и полученные результаты опытов при исследовании тягового сопротивления упругой S-образной стойки с регулятором жесткости представлены в табл. 2.

После расчета и исключения незначимых коэффициентов получено уравнение регрессии:

$$P = -72,3 + 5890,62 \cdot h + 26,25 \cdot V - 6,25 \cdot K_{\text{жест}}.$$

На рис. 1 приведены графики зависимости тягового усилия от жесткости стойки, скорости и глубины обработки почвы, полученные при многофакторном эксперименте.

Сочетание факторов и полученные результаты опытов при исследовании влияния режимов работы упругой S-образной стойки в почве на отклонения носка лапы представлены в табл. 3.

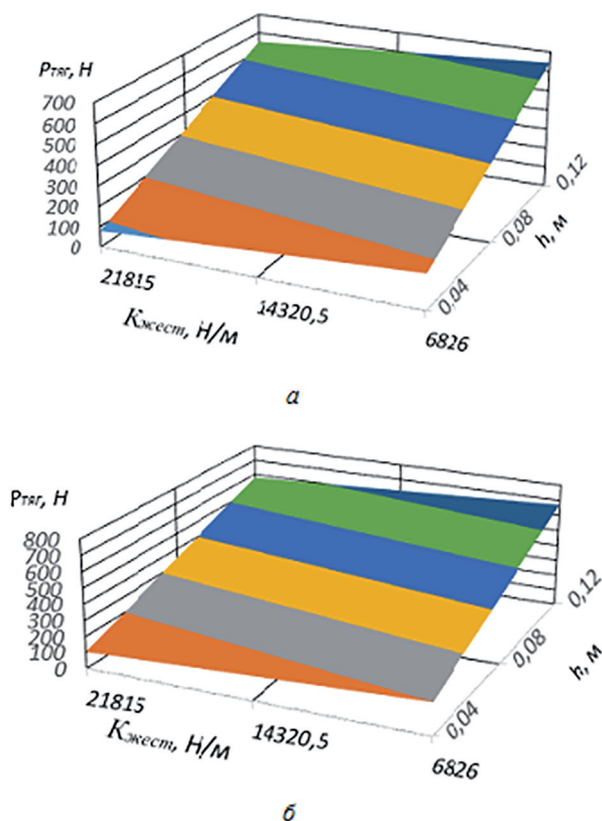


Рис. 1. График зависимости тягового усилия упругой S-образной стойки от глубины обработки почвы и жесткости стойки:
а – $V = 2$ м/с; б – $V = 3$ м/с

Таблица 1

Факторы и интервалы их варьирования в действительных значениях

Уровни	Факторы рабочего процесса в единицах измерения		
	$(x_1) - h, \text{ м}$	$(x_2) - V, \text{ м/с}$	$(x_3) - K_{\text{жест}}, \text{ кН/м}$
Верхний	0,12	3	6,826 (стандартная)
Нижний	0,04	2	21,815
Основной	0,08	2,5	14,3205
Интервал варьирования	0,04	0,5	7,4945

Таблица 2

Матрица планирования и результаты опытов

Номер опыта	Факторы				Комбинации факторов				Значение параметра оптимизации (тяговое сопротивление $P_{\text{тяги}}, \text{ Н}$)			
	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	+	-	-	-	+	+	+	-	100	110	100	110
2	+	+	-	-	-	-	+	+	520	540	520	540
3	+	-	+	-	-	+	-	+	130	120	110	120
4	+	+	+	-	+	-	-	-	550	550	560	570
5	+	-	-	+	+	-	-	+	150	140	160	160
6	+	+	-	+	-	+	-	-	650	670	660	660
7	+	-	+	+	-	-	+	-	170	180	190	180
8	+	+	+	+	+	+	+	+	680	690	700	710

Таблица 3

Матрица планирования и результаты опытов

Номер опыта	Факторы				Комбинации факторов				Значение параметра оптимизации (тяговое сопротивление $P_{\text{тяг}}$, Н)			
	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	+	-	-	-	+	+	+	-	100	110	100	110
2	+	+	-	-	-	-	+	+	520	540	520	540
3	+	-	+	-	-	+	-	+	130	120	110	120
4	+	+	+	-	+	-	-	-	550	550	560	570
5	+	-	-	+	+	-	-	+	150	140	160	160
6	+	+	-	+	-	+	-	-	650	670	660	660
7	+	-	+	+	-	-	+	-	170	180	190	180
8	+	+	+	+	+	+	+	+	680	690	700	710

Получено уравнение регрессии для определения отклонения упругой S-образной стойки:

$$\Delta H = 0,0257 + 0,1933 \cdot h + 0,0030 \cdot V - 0,0017 \cdot K_{\text{жест.}}$$

На рис. 2 приведены графики зависимости отклонения носка лапы упругой S-образной стойки от ее жесткости, скорости и глубины обработки, полученные при многофакторном эксперименте.

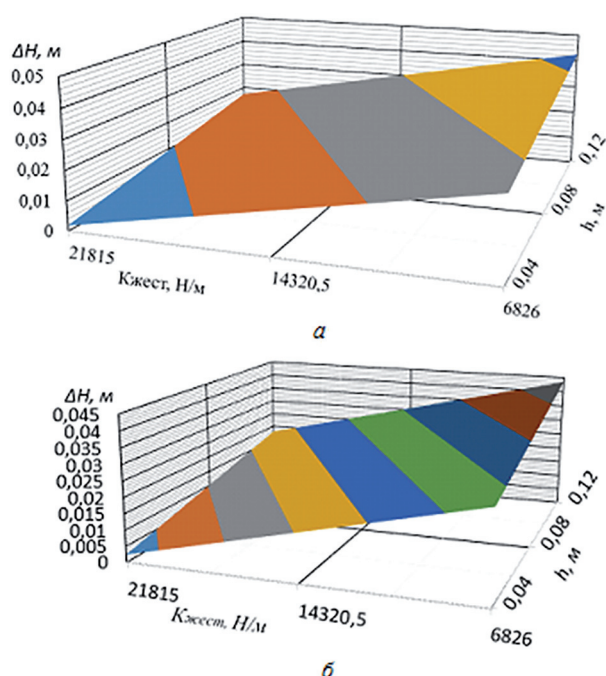


Рис. 2. График зависимости отклонения носка лапы упругой S-образной стойки от глубины обработки и жесткости стойки:
а – $V = 2$ м/с; б – $V = 3$ м/с

Результаты и обсуждение

Анализ полученных результатов экспериментов показывает, что при увеличении глубины обработки от 0,04 до 0,12 м при скорости 2 м/с тяговое сопротивление S-образной стойки возрастет с 95 до 646 Н, а при скорости 3 м/с – с 105 до 670 Н (рис. 1). Следует заметить, что увеличение жесткости стойки с 6226 до 21815 Н/м, приводит к снижению тягового сопротивления на 100 Н.

С увеличением глубины обработки и скорости агрегата отклонение носка лапы увеличивается. При увеличении жесткости стойки [6] отклонение носка лапы уменьшается (рис. 2). Максимальное отклонение наблюдается при скорости 3 м/с, глубине 0,12 м, жесткости стойки 6826 Н/м.

Выводы

Установлено, что на тяговое сопротивление и отклонение носка лапы рабочего органа на упругой S-образной стойке большое влияние оказывают глубина обработки, рабочая скорость агрегата и жесткость стойки.

С увеличением глубины обработки, скорости агрегата и уменьшением жесткости стойки тяговое сопротивление и отклонение носка лапы рабочего органа увеличиваются.

При глубине обработки до 0,05 м, скорости агрегата 12 км/ч и выполнении агротехнических требований необходимо установить регулятор жесткости так, чтобы жесткость стойки составляла 14320,5 Н/м, а при обработке на глубину 0,105 м и больше – не менее 21815 Н/м.

Литература

1. Федоров С.Е., Чаткин М.Н., Костин А.С., Колесников Н.В. Исследование упругой S-образной стойки комбинированного культиватора // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 12–15.
2. Федоров С.Е., Костин А.С., Чаткин М.Н. Определение деформаций упругих стоек культиватора // Сельский механизатор. 2015. № 10. С. 18–19.
3. Федоров С.Е., Чаткин М.Н., Костин А.С., Городсков С.Ю. Моделирование пружинных стоек комбинированных культиваторов // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 8. С. 41–44.
4. Федоров С.Е., Чаткин М.Н., Костин А.С. Обоснование параметров пружинных стоек комбинированных культиваторов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: материалы междунар. конф. Саранск. Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 547–550.
5. Федоров С.Е., Чаткин М.Н. Полевые исследования упругой S-образной стойки // Основные направления развития техники и технологии в АПК: материалы и доклады VII Всероссийской научно-практической конф. Княгинино. Изд-во НГИЭУ, 2016. С. 323–326.
6. Чаткин М.Н., Федоров С.Е., Костин А.С. Культиватор на упругих стойках. Патент на полезную модель № 132940 РФ, 2013.
- combined cultivator. Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2015. No 3, pp. 12–15.
2. Fedorov S.E., Kostin A.S., Chatkin M.N. Determination of deformations of elastic stands of the cultivator. Sel'skiy mekhanizator. 2015. No 10, pp. 18–19.
3. Fedorov S.E., Chatkin M.N., Kostin A.S., Gorodskov S.Yu. Modeling of spring struts of combined cultivators. Traktory i sel'khoz mashiny. 2013. No 8, pp. 41–44.
4. Fedorov S.E., Chatkin M.N., Kostin A.S. Justification of the parameters of the spring racks of combined cultivators. Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy: materialy mezhdunar. konf [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems: materials of the international. conf.]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2014, pp. 547–550.
5. Fedorov S.E., Chatkin M.N. Field studies of the elastic S-pillar. Osnovnye napravleniya razvitiya tekhniki i tekhnologii v APK: materialy i doklady VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konf [The main directions of the development of techniques and technology in agribusiness: materials and reports of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference.]. Knyaginino: Izd-vo NGIEU Publ., 2016, pp. 323–326.
6. Chatkin M.N., Fedorov S.E., Kostin A.S. Kul'tivator na uprugikh stoykakh [Cultivator on elastic supports]. Patent na poleznuyu model' No 132940 RF, 2013.

References

1. Fedorov S.E., Chatkin M.N., Kostin A.S., Kolesnikov N.V. The study of the elastic S-bar of the