



УДК 631.316.022.2

С.Ю. Радин, С.С. Бунеев, С.Ю. Шубкин, С.В. Елецких

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-214-8-108-114 S.Yu. Radin, S.S. Buneev, S.Yu. Shubkin, S.V. Eletsikh

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КУЛЬТИВАТОРОВ СО СТОЙКАМИ S-ОБРАЗНОЙ ФОРМЫ

IMPROVING RELIABILITY AND PERFORMANCE OF S-TINE CULTIVATORS

Ключевые слова: культиватор, гибкие стойки S-образной формы, рабочие органы, жесткость, устойчивость, надежность, эффективность.

Представлены материалы, касающиеся разработки перспективной конструкции культиватора с гибкими стойками S-образной формы, на которых жестко закреплены рабочие органы (лапы). В настоящее время в практике сельскохозяйственного производства широкое распространение получили различные по конструкции культиваторы, предназначенные как для сплошной обработки почвы, так и междурядий. Так, известна конструкция садового культиватора модели КСГ-5. Такой культиватор состоит из рамы, на которой с помощью стоек установлены рабочие органы. Существенным недостатком такого культиватора является то, что рабочие органы его закреплены на стойках, имеющих высокую жесткость, и поэтому при встрече рабочих органов с инородными предметами, находящимися в почве или камнями, они остаточо деформируются, что в итоге в дальнейшем требует соответствующих затрат на их восстановление и ремонт. Предлагаемое техническое решение позволит повысить показатели надежности и эффективности функционирования существующих культиваторов, снабженных упругими стойками S-образной формы, несущих рабочие органы. Поставленная задача решается в предложенном техническом решении за счет возможности оперативного изменения жесткости S-образных стоек путем регулирования их длины. Проведенные аналитические исследования, а также выполненные расчеты таких важных параметров, как изгибающий момент и напряжения изгиба в критических точках гибкой стойки S-образной формы, доказывают высокую эффективность разработанной конструкции культиватора, применять которую можно для обработки почв, имеющих различную плотность. Ре-

зультаты исследования рекомендуются как отечественным, так и зарубежным НИИ, конструкторским и производственным структурам сельскохозяйственного машиностроения для дальнейшего изучения и доработки предложенных устройств с целью возможного внедрения их в практику.

Keywords: cultivator, flexible S-tines, working tools, rigidity, stability, reliability, efficiency.

This paper discusses the development of a promising design of cultivator with flexible S-tines with rigidly attached working tools (sweeps). Currently, cultivators of various designs both for overall tillage and intertillage are widely used in agricultural production. For example, the design of an orchard cultivator KSG-5 is known. This cultivator consists of a frame with tines to which working bodies are attached. A significant disadvantage of this cultivator is that its working tools are attached to highly rigid tines, and therefore, when working tools run into foreign objects in the soil or stones they are permanently deformed; this ultimately requires appropriate costs for their restoration and repair. The proposed technical solution will improve the reliability and performance of existing cultivators equipped with flexible S-tines carrying working tools. The proposed technical solution consists in the possibility to quickly change the rigidity of the S-tines by adjusting their length. The conducted analytical studies and the calculations of such important parameters as the bending moment and bending stresses at critical points of a flexible S-tine prove the high efficiency of the developed cultivator design which may be used for tillage on soils of different density. The research findings may be considered by both domestic and foreign research centers, design and production structures of agricultural engineering for further study and refinement of the proposed devices with a view to their possible implementation.

Радин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент, Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина, г. Елец, Липецкая область, Российская Федерация, e-mail: radin81@mail.ru.

Бунеев Сергей Сергеевич, к.ф.-м.н., доцент, Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина, г. Елец, Липецкая область, Российская Федерация, e-mail: limes88@mail.ru.

Шубкин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент, Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина, г. Елец, Липецкая область, Российская Федерация, e-mail: shubkin.92@mail.ru.

Елецких Сергей Витальевич, к.т.н., доцент, Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина, г. Елец, Липецкая область, Российская Федерация, e-mail: esv8@yandex.ru.

Radin Sergey Yurevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Bunin Yelets State University, Yelets, Lipetsk Region, Russian Federation, e-mail: radin81@mail.ru.

Buneev Sergey Sergeevich, Cand. Phys.-Math. Sci., Assoc. Prof., Bunin Yelets State University, Yelets, Lipetsk Region, Russian Federation, e-mail: limes88@mail.ru.

Shubkin Sergey Yurevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Bunin Yelets State University, Yelets, Lipetsk Region, Russian Federation, e-mail: shubkin.92@mail.ru.

Eletskikh Sergey Vitalevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Bunin Yelets State University, Yelets, Lipetsk Region, Russian Federation, e-mail: esv8@yandex.ru.

Введение

В последние годы широкое распространение в практике сельскохозяйственного производства получили культиваторы, снабженные стойками S-образной формы с закрепленными на них рабочими органами (лапами) [1-3]. Известно множество вариантов конструкций указанных культиваторов, предназначенных для сплошной обработки почв и междурядий, главным недостатком которых является высокая жесткость стоек, на которых установлены рабочие органы [4-6]. В тот момент, когда лапы культиватора начинают контактировать с инородными твердыми предметами (например, камнями), которые могут находиться в почве, существует вероятность появления в стойках остаточных деформаций, негативным образом влияющих на показатели надежности и эффективности функционирования культиватора. В результате возникновения таких деформаций зачастую наблюдаются нарушения в работе культиватора, а иногда это и вовсе приводит к его выходу из строя [7-9]. Избежать поломок и последующего восстановления элементов конструкции культиватора можно путем использования стоек S-образной формы, выполненных из упругого материала, что позволяет повысить надежность рабочих органов, а также добиться улучшения агротехнических показателей обработки почвы [10]. Однако изгибная жесткость стоек S-образной формы, как правило, имеет постоянную величину, поэтому культиваторы таких конструкций в основном предназначены для обработки почв, плотность которых неизменна на всей культивируемой площади [11]. Если же рассматривать почвы, у которых значение плотности колеблет-

ся в довольно широком диапазоне, то их обработка культиваторами, снабженными стойками S-образной формы из упругого материала, весьма затруднительна. Дело в том, что стойки культиватора получают угловой поворот при обработке почв с высоким показателем плотности больше, чем при обработке почвы с низким показателем. Это приводит к неравномерности обработки всей площади почвы.

Цель исследования – разработка технического решения, которое позволит достигнуть повышения показателей надежности и эффективности функционирования культиваторов с гибкими стойками S-образной формы.

Объекты и методы

Учитывая указанные выше недостатки при эксплуатации культиваторов со стойками S-образной формы, широко используемых как в агропромышленном комплексе Российской Федерации, так и зарубежных стран, были проведены аналитические исследования, направленные на расширение спектра их применения и совершенствование конструкции.

Исследования проводились на базе агропромышленного института ЕГУ им. И.А. Бунина на базе кафедры технологических процессов в машиностроении и агроинженерии в научно-исследовательских лабораториях по совершенствованию рабочего процесса и повышению надежности сельскохозяйственных машин и технологических комплексов.

Методологическую основу исследования составил системный подход, который позволил установить связь между параметрами разработанной перспективной конструкции культиватора

с гибкими стойками S-образной формы, на которых жестко закреплены рабочие органы, и критериями качества функционирования культиватора. Используются сведения земледельческой (сельскохозяйственной) механики теоретического и экспериментального характера, а также законы классической механики. При обработке результатов экспериментов применялись математические методы систематизации, в основе которых – использование статистических данных для научно-практических выводов [12, 13].

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных исследований была разработана перспективная конструкция культиватора с гибкими стойками S-образной формы, на которых жестко закреплены рабочие органы (рис. 1).

Несущим элементом культиватора, к которому жестко присоединены стойки S-образной формы 2 с рабочими органами 3, является рама 1. В стойке 2 имеется паз 4 с насечкой 5, которая взаимодействует с такой же насечкой, нарезанной на пластине 6, соединенной с втулкой 7. Во внутренней части упорной пластины 6 закреплена пружина сжатия 8, которая одной стороной примыкает к пластине 6, а с другой – упирается в шайбу 9, располагающуюся на стержне 10. Стержень 10 в свою очередь шарнирно соединяется с осью 11, опорами которой являются кронштейны 12.

Ниже приведено описание принципа действия представленной перспективной конструкции культиватора.

Рабочий орган 3, воздействуя на почву, преодолевает ее сопротивление, испытывая на себе влияние возникающей при этом силы P . Принимаем, что данная сила является величиной постоянной ($P=const$) и не вызывает упругой деформации гибкой стойки S-образной формы. Рабочий орган 3 углублен в почву на фиксированное расстояние и устойчиво движется вместе с рамой культиватора.

Предположим, что значение плотности почвы, которую обрабатывает культиватор, изменилось в большую сторону, вызвав при этом угловую упругую деформацию гибкой стойки S-образной формы. Возникшая деформация прямым образом оказывает влияние на положение в почве рабочего органа 3, что приводит к нарушениям технологического процесса резания

почвы. Появление таких деформаций связано с недостаточной жесткостью участка гибкой стойки S-образной формы, который располагается между точкой приложения силы P и точкой крепления стойки к раме культиватора. Очевидно, что деформации стоек наступают в результате действия на них критической силы $P_{кр}$, которую можно определить, используя известную зависимость [14-16]:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}, \tag{1}$$

где EJ – жесткость гибкой стойки S-образной формы;

l – длина рассматриваемого участка стойки S-образной формы.

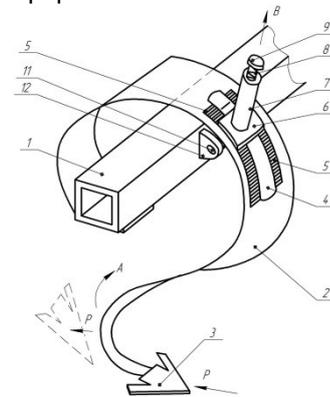


Рис. 1. Общий вид гибкой стойки S-образной формы рабочего органа

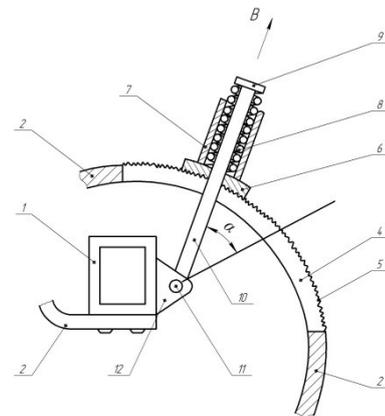


Рис. 2. Фиксирующее устройство рабочей длины гибкой стойки S-образной формы

Из (1) видно, что наибольшее влияние на деформации стойки оказывает величина l . Чем меньше значение l , тем значение $P_{кр}$ при тех же параметрах E и J больше. В представленной конструкции культиватора предлагается использовать принцип, который позволяет избежать возникновения указанных деформаций за счет постоянного изменения рабочей длины стоек,

адаптируя их, таким образом, под любое значение величины плотности почвы. Данный принцип заключается в следующем. Допустим, эксплуатация культиватора производится на довольно плотных почвах. Перемещая вручную по стрелке B (рис. 2) втулку 7 вместе с упорной пластиной 6, которая деформирует пружину сжатия 8, производят поворот пальца 10 на оси 11 на определенный угол α . Далее втулка 7, находясь под действием сил упругого сопротивления сжатой пружины 8, совместно с упорной пластиной 6 зафиксирует палец 10 в новом положении. При проведении таких операций можно добиться сокращения длины рабочего участка гибкой стойки S-образной формы 2, что позволит увеличить сопротивляемость к угловым упругим деформациям, возникающим от воздействия силы P . Значение длины паза 4, вдоль которого происходит смена положения пальца 10 относительно рамы 1 культиватора, следует устанавливать в каждом конкретном случае экспериментально. Поворачивая пальцы 10 на разные углы в зависимости от величины плотности почвы, можно получать необходимую устойчивость рабочего органа 3 при движении рамы 1 культиватора.

Рассмотрим пример предварительного расчёта основных параметров предложенной конструкции культиватора с гибкой стойкой S-образной формы. Для этого воспользуемся расчётной схемой (рис. 3).

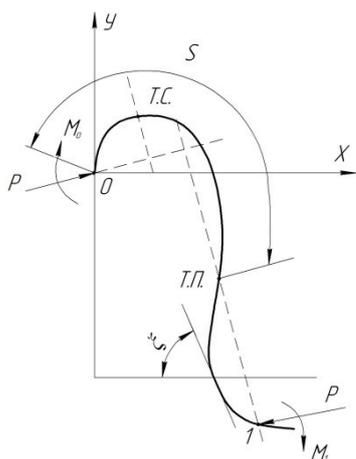


Рис. 3. Расчётная схема нагружения гибкой стойки S-образной формы культиватора

Дифференциальное уравнение кривизны гибкой стойки S-образной формы имеет вид [17]:

$$\frac{d^2 \zeta}{ds^2} = -\frac{P}{B} \sin \zeta, \quad (2)$$

где ζ – угол наклона касательной к оси x ;
 s – дуга от точки O ;

P – действующее усилие, приложенное в точке 1;

M – изгибающий момент в произвольной точке стойки $M = M_0 - P_y$;

B – изгибная жёсткость стойки $B = EJ = Ebh^3/12$ (b – ширина стойки, h – толщина стойки).

Дифференциальное уравнение (2) представим в безразмерной форме. С этой целью введём в (2) безразмерный параметр нагрузки β , а также безразмерный параметр дуги λ , которые, соответственно, определяются по зависимостям:

$$\beta = l \sqrt{\frac{P}{B}}, \quad (3)$$

$$\lambda = \beta \frac{s}{l}. \quad (4)$$

В результате используем зависимость, которая представляет собой дифференциальное уравнение изогнутой оси гибкой стойки S-образной формы:

$$\frac{d^2 \zeta}{d\lambda^2} = -\sin \zeta. \quad (5)$$

Интегрируя (5), получаем:

$$\frac{d\zeta}{d\lambda} = 2 \sqrt{D - \sin^2 \frac{\zeta}{2}}, \quad (6)$$

где D – постоянная интегрирования.

Полученное уравнение (6), приведенное в безразмерной форме, устанавливает зависимость кривизны упругой линии от величины угла ζ (рис. 3). Ось стержня (рис. 3), находясь в изогнутом состоянии, помимо точек перегиба ($T.П.$) может иметь и другие характерные точки, в которых внутренние силы приводятся к нормальной силе сжатия или растяжения: точки сжатия ($T.С.$) и точки растяжения ($T.Р.$). Касательная, проведенная к упругой линии стержня в $T.Р.$ или $T.С.$, параллельна линии действия силы. Нормаль, проведенная аналогичным образом, представляет собой ось симметрии для близлежащих участков кривой, а $T.П.$ является центром симметрии. Отметим тот факт, что $T.Р.$ могут появляться только в том случае, если кривая бесперегибной формы.

Учитывая характер изменения кривизны стойки S-образной формы за счёт изменения рабочей её длины, осуществляемой угловым поворотом пальца 10 (рис. 3), при перестройке культиватора для проведения работ на более твёрдых почвах, будет менять своё положение и точка перегиба (Т.П.). Такое явление увеличит численное значение критической силы $P_{кр}$ и, следовательно, потеря устойчивости гибкой стойки S-образной формы совместно с рабочим органом будет исключена. В то же время с точки зрения прочностной характеристики гибкой стойки S-образной формы необходимо рассчитать нормальные напряжения, возникающие в

ней, которые можно определить, используя формулу Эйлера по известной зависимости:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{85} = 273 \text{ МПа} < \sigma_{пр} = 983 \text{ МПа}, \quad (7)$$

где $\sigma_{пр}$ – предел пропорциональности для Стали 60С2 (материал гибкой стойки S-образной формы), равный 983 МПа.

В результате были проведены расчёты таких важных параметров, как изгибающего момента M и напряжений изгиба $\sigma_{изг}$, которые представлены в таблице 1.

Таблица

Результаты расчета изгибающего момента M и напряжений изгиба $\sigma_{изг}$ гибкой стойки S-образной формы

$l, \text{ мм}$	$b, \text{ мм}$	$h, \text{ мм}$	$E, \text{ МПа}$	$W, \text{ мм}^3$	$M, \text{ Н}\cdot\text{мм}$	$P, \text{ Н}$	$\sigma_{изг}, \text{ МПа}$
540,0	120,0	6,0	$2 \cdot 10^5$	$2,16 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^5$	500	12,5
520,0	120,0	6,0	$2 \cdot 10^5$	$2,16 \cdot 10^4$	$3,64 \cdot 10^5$	700	16,85
500,0	120,0	6,0	$2 \cdot 10^5$	$2,16 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^5$	900	20,83
480,0	120,0	6,0	$2 \cdot 10^5$	$2,16 \cdot 10^4$	$5,28 \cdot 10^5$	1100	24,4
460,0	120,0	6,0	$2 \cdot 10^5$	$2,16 \cdot 10^4$	$6,44 \cdot 10^5$	1400	29,8

В качестве исходных данных принята упругая деформация гибкой стойки рабочего органа в диапазоне изменения её высоты от 540 до 460 мм с шагом 20,0 мм в зависимости от рабочей нагрузки, приходящейся на лапу культиватора от 500 до 1400 Н, характерной для обрабатываемых малогумусных почв, например, Центрально-Чернозёмного региона Российской Федерации, плотность твёрдой фазы которых составляет в среднем 1,95-1,8 кг/см³. При расчётах также принято, что ширина пружинной стойки рабочего органа равна 120 мм, а её толщина $h = 6,0$ мм. Для расчёта напряжений изгиба использована известная зависимость [6]:

$$\sigma_{изг} = \frac{6M}{bh^2} = \frac{M}{W_x}, \quad (8)$$

где W_x – момент сопротивления сечения.

Заключение

В результате проведенного анализа многочисленного числа отечественных и зарубежных библиографических источников было разрабо-

тано на уровне патента на изобретение (RU 2 464 757) техническое решение, позволяющее достигать повышения показателей надежности и эффективности функционирования культиваторов с гибкими стойками S-образной формы, на которых жестко закреплены рабочие органы (лапы).

Установлены рациональные геометрические, кинематические, прочностные и силовые параметры предложенной перспективной конструкции культиватора с гибкими стойками S-образной формы устройства на основе составленной расчётной схемы и физической модели (табл.).

Предложена методика по вычислению вышеуказанных параметров как для проведения предварительных инженерных расчётов, так и для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, что в итоге позволяет установить критерии работоспособности разработанного технического решения с целью его возможного в дальнейшем внедрения в практику.

Библиографический список

1. Кудзаев, А. Б. Адаптивный энергосберегающий культиватор для обработки каменистых почв / А. Б. Кудзаев, Т. А. Уртаев. – Текст: непосредственный // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 2. – С. 28-32. – EDN TOCCOX.
2. Лукин, А. Обслуживание и ремонт культиватора / А. Лукин. – Текст: непосредственный // Наше сельское хозяйство. – 2021. – № 15(263). – С. 38-47. – EDN RPDDLJ.
3. Математическое обоснование схемы расположения рабочих органов на раме культиватора / М. В. Никонов, С. С. Бунеев, С. Ю. Шубкин, А. В. Клапп. – Текст: непосредственный // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2020. – № 2(16). – С. 98-103. – DOI 10.24888/2541-7835-2020-16-98-103. – EDN CZRVDC.
4. Патент № 2464757 С1 Российская Федерация, МПК А01В 35/24, А01В 39/22. Культиватор: № 2011118197/13: заявл. 05.05.2011: опубл. 27.10.2012 / Сливинский Е. В., Анутов Р. М., Д Тищенко. Е., Радин С. Ю.; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина». – Текст: непосредственный.
5. Торикив, В. Е. Эффективность работы универсальной стрельчатой лапы культиватора / В. Е. Торикив, С. И. Старовойтов. – Текст: непосредственный // Агроконсультант. – 2016. – № 5(2016). – С. 34-37. – EDN ZXEXWH.
6. Aramide, B.P., Pityana, S., Sadiku, R., et al. (2021). Improving the durability of tillage tools through surface modification - a review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 116. DOI: 10.1007/s00170-021-07487-4.
7. Кокошин, С. Н. Способ стабилизации глубины обработки почвы культиваторами с упругими стойками / С. Н. Кокошин, В. И. Ташланов. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 6 (86). – С. 120-124. – EDN VJECFT.
8. Макаренко, А. Н. Рабочий орган культиватора / А. Н. Макаренко, И. В. Мартынова. – Текст: непосредственный // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 1 (21). – С. 39-53. – EDN ICNDTO.
9. Andreev, V., Demshin, S., Isupov, A., Ilichev, V. (2021). Theoretical research of multifunctional tillage unit scheme. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 723. 032075. DOI: 10.1088/1755-1315/723/3/032075.
10. Федоров, С. Е. Способы изменения жесткости упругих s-образных стоек культиваторов / С. Е. Федоров, А. А. Жалнин. – Текст: непосредственный // Научное обозрение: Международный научно-практический журнал. – 2020. – № 2. – С. 2. – EDN BJZEQS.
11. Kozachenko, O., Aliiev, E., & Sedykh, K. (2021). Results of investigation of the spring shank disc harrow performance. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 83(4), 123-140.
12. Исследование функциональных показателей блочно-модульных культиваторов / Н. К. Мазитов, Л. З. Шарафиев, А. Р. Валиев [и др.]. – Текст: непосредственный // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 4 (274). – С. 12-15. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-4-12-15. – EDN ODMRSI.
13. Sadek, M., Chen, Y., Zeng, Z. (2021). Draft force prediction for a high-speed disc implement using discrete element modelling. *Biosystems Engineering*. 202. 133-141. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2020.12.009.
14. Lü J., Liu Z., Wang P., et al. (2019). Design and experiment of driving-type crushing-weeding multi-functional potato cultivator. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 35(10): 1-8. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.10.001.
15. Qi J., Sun H., Jia H., et al. (2021). Optimization and experiment of working parameters of cultivator-ridging-device with curved wing. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 37(2): 79-85. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.2.010
16. Yezekyan, T., Benetti, M., Armentano, G., et al. (2021). Definition of Reference Models for Power, Mass, Working Width, and Price for Tillage Implements. *Agriculture*. 11. 197. DOI: 10.3390/agriculture11030197.
17. Cardei, P., Nicolae, C., Sfiru, R., et al. (2021). Structural analysis of a modulated load-bearing structure designed to investigate the interaction between soil and the working parts of agricultural machines. *Journal of Physics: Conference Series*. 1781. 012064. DOI: 10.1088/1742-6596/1781/1/012064.

References

1. Kudzaev, A. B. Adaptivnyi energosberegaiushchii kultivator dlia obrabotki kamenistykh pochv / A. B. Kudzaev, T. A. Urtaev // Selskokhoziaistvennye mashiny i tekhnologii. – 2015. – No. 2. – S. 28-32. – EDN TOCCOX.
2. Lukin, A. Obsluzhivanie i remont kultivatora / A. Lukin // Nashe selskoe khoziaistvo. – 2021. – No. 15 (263). – S. 38-47. – EDN RPDDLJ.
3. Matematicheskoe obosnovanie skhemy raspolozheniia rabochikh organov na rame kultivatora / M. V. Nikonov, S. S. Buneev, S. Iu. Shubkin, A. V. Klapp // Agropromyshlennye tekhnologii Tsentralnoi Rossii. – 2020. – No. 2 (16). – S. 98-103. – DOI 10.24888/2541-7835-2020-16-98-103. – EDN CZRVDC.
4. Patent No. 2464757 C1 Rossiiskaia Federatsiia, MPK A01B 35/24, A01B 39/22. Kultivator: No. 2011118197/13: zaiavl. 05.05.2011: opubl. 27.10.2012 / E. V. Slivinskii, R. M. Anutov, D. E. Tishchenko, S. Iu. Radin; zaiavitel Gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniia «Eletskii gosudarstvennyi universitet im. I.A. Bunina».
5. Torikov, V. E. Effektivnost raboty universalnoi strelchatoi lapy kultivatora / V. E. Torikov, S. I. Starovoitov // Agrokonsultant. – 2016. – No. 5 (2016). – S. 34-37. – EDN ZXEXWH.
6. Aramide, B.P., Pityana, S., Sadiku, R., et al. (2021). Improving the durability of tillage tools through surface modification - a review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 116. DOI: 10.1007/s00170-021-07487-4.
7. Kokoshin, S. N. Sposob stabilizatsii glubiny obrabotki pochvy kultivatorami s uprugimi stoikami / S. N. Kokoshin, V. I. Tashlanov // Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – No. 6 (86). – S. 120-124. – EDN BJECFT.
8. Makarenko, A. N. Rabochii organ kultivatora / A. N. Makarenko, I. V. Martynova // Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. – 2019. – No. 1 (21). – S. 39-53. – EDN ICNDTO.
9. Andreev, V., Demshin, S., Isupov, A., Ilichev, V. (2021). Theoretical research of multifunctional tillage unit scheme. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 723. 032075. DOI: 10.1088/1755-1315/723/3/032075.
10. Fedorov, S. E. Sposoby izmeneniia zhestkosti uprugikh S-obraznykh stoek kultivatorov / S. E. Fedorov, A. A. Zhalnin // Nauchnoe obozrenie. Mezhdunarodnyi nauchno-prakticheskii zhurnal. – 2020. – No. 2. – S. 2. – EDN BJZEQS.
11. Kozachenko, O., Aliiev, E., Sedykh, K. (2021). Results of investigation of the spring shank disc harrow performance. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 83 (4), 123-140.
12. Issledovanie funktsionalnykh pokazatelei blochno-modulnykh kultivatorov / N. K. Mazitov, L. Z. Sharafiev, A. R. Valiev [i dr.] // Tekhnika i oborudovanie dlia sela. – 2020. – No. 4 (274). – S. 12-15. – DOI: 10.33267/2072-9642-2020-4-12-15. – EDN ODMRSI.
13. Sadek, M., Chen, Y., Zeng, Z. (2021). Draft force prediction for a high-speed disc implement using discrete element modelling. *Biosystems Engineering*. 202. 133-141. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2020.12.009.
14. Lü J., Liu Z., Wang P., et al. (2019). Design and experiment of driving-type crushing-weeding multi-functional potato cultivator. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 35(10): 1-8. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.10.001.
15. Qi J., Sun H., Jia H., et al. (2021). Optimization and experiment of working parameters of cultivator-ridging-device with curved wing. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 37(2): 79-85. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.2.010
16. Yezekyan, T., Benetti, M., Armentano, G., et al. (2021). Definition of Reference Models for Power, Mass, Working Width, and Price for Tillage Implements. *Agriculture*. 11. 197. DOI: 10.3390/agriculture11030197.
17. Cardei, P., Nicolae, C., Sfiru, R., et al. (2021). Structural analysis of a modulated load-bearing structure designed to investigate the interaction between soil and the working parts of agricultural machines. *Journal of Physics: Conference Series*. 1781. 012064. DOI: 10.1088/1742-6596/1781/1/012064.

