

## Способ стабилизации глубины обработки почвы культиваторами с упругими стойками

С.Н. Кокошин, канд. техн. наук, В.И. Ташланов, аспирант  
ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья

В статье рассмотрена возможность стабилизации глубины обработки почвы культиваторными лапами на упругих стойках за счёт применения автоматического регулятора жёсткости, выполненного на основе гибкого трубчатого элемента. Универсальность предложенного приспособления заключается в том, что за счёт изменения гидравлического давления, подаваемого в его внутреннюю полость, изменяется сила действия элемента на стойку. Определение перемещения культиваторной лапы от действия силы сопротивления почвы предложено определять с использованием интеграла Мора. Для применения автоматического регулятора необходимо определить его оптимальное положение в конструкции стойки. Для этого были рассмотрены два способа установки, создающие различные изгибающие моменты на наиболее нагружённой части стойки. Представлены эпюры изгибающих моментов и графические зависимости, отображающие характер изменения изгибающего момента с учётом действия силы сопротивления почвы. На основании проведённого анализа предложено оптимальное положение регулятора жёсткости в конструкции упругой стойки культиватора, при котором компенсация перемещения от силы сопротивления почвы происходит с минимальными затратами энергии со стороны гидравлической системы трактора.

**Ключевые слова:** культиватор, обработка почвы, глубина, стабилизация, система слежения глубины, автоматика, регулятор жёсткости.

В технологическом процессе возделывания зерновых культур обработка почвы и посев являются наиболее энергоёмкими операциями [1]. Современные технологии направлены на снижение эксплуатационных затрат при проведении технологических операций, связанных с возделыванием сельскохозяйственных культур [2]. Но применение безотвальной и нулевой технологий обработки почвы возможно только в определённых почвенно-климатических условиях. На территории Тюменской области полный отказ от отвальной обработки невозможен, так как это приводит к увеличению засорённости почв [3]. Для подготовки почвы к посеву и борьбы с сорняками, а также с целью снижения тягового сопротивления проводят предпосевную обработку почвы культиваторами на упругих стойках [4]. По сравнению с жёсткими стойками упругие обладают преимуществом в виде снижения тягового усилия за счёт колебаний от действия силы сопротивления почвы.

Одним из главных показателей качества культивации является создание равномерного посевного ложа на установленной глубине обработки. На практике этого добиться довольно сложно, так как изменение физико-механических свойств почвы приводит к деформации упругих стоек культиваторов, изменяя глубину обработки [5]. Для стабилизации установленной глубины обработки почвы необходимо обеспечить достаточную изгибающую жёсткость стойки культиваторной лапы [6]. В серийных конструкциях культиваторов применяют элементы в виде пружин или дополнительные витки стойки, увеличивающие жёсткость (рис. 1). В качестве

недостатков необходимо отметить отсутствие возможности регулирования жёсткости стойки в процессе полевых работ. Существуют приспособления [7, 8], которые позволяют изменять изгибающую жёсткость S-образных стоек, но для её изменения необходимо проводить ручную настройку.

Для автоматизации процессов в растениеводстве применяют различные методы и системы контроля параметров технологического процесса [9, 10]. В наших ранних работах [11, 12] мы предлагали систему контроля глубины обработки почвы с применением в конструкции стойки культиватора гибкий трубчатый элемент (ГТЭ). Недостатком предложенной конструкции является сложность перевода культиваторов, которые уже эксплуатируются, на данную систему управления. В связи с этим была сформулирована **цель исследования:** разработка конструкции регулятора

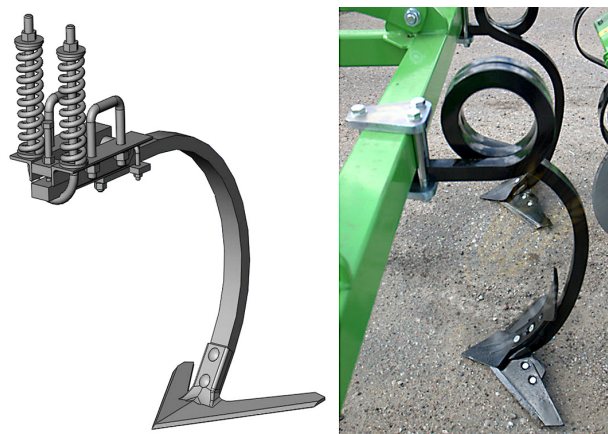


Рис. 1 – Дополнительные упругие элементы стоек

жёсткости культиваторной стойки и системы управления глубиной обработки почвы.

**Материал и методы исследования.** Для определения оптимальной конструкции упругой стойки и установки автоматического регулятора жёсткости необходимо составить деформативную модель стойки от действия сил сопротивления почвы. Для этого рассмотрим S-образную стойку, нагружённую единичной силой сопротивления почвы. Для определения перемещений лапы культиватора воспользуемся интегралом Мора:

$$\Delta = \sum_0^n \int_0^l \frac{M_F(z) \cdot M_1(z)}{EI} dz, \quad (1)$$

где  $M_F(z)$  – значение изгибающего момента от внешних сил на участке, Нмм;

$M_1(z)$  – значение изгибающего момента от единичной силы на участке, приложенной в исследуемой точке по направлению, в котором определяется перемещение Нмм;

$E$  – модуль упругости материала, МПа;

$I$  – осевой момент инерции поперечного сечения стойки, мм<sup>4</sup>.

В выражении (1)  $M_F(z)$  представляет собой функцию, зависящую от внешней силы сопротивления почвы  $F$ , которая взаимодействует с лапой культиватора под определённым углом  $\alpha$ . Проведём анализ изменения изгибающего момента по длине культиваторной стойки. Для этого выделим на стойке культиватора несколько характерных точек, соответствующих изменению кривизны стойки или характеризующих габаритные размеры (рис. 2а). Для расчёта спроецируем силу сопротивления почвы на вертикальную и горизонтальную оси. В этом случае изгибающие

моменты в точках стойки будут определяться по выражению:

$$M(F_z) = F \cdot l_{xi} \cdot \sin \alpha; \quad M(F_x) = F \cdot l_{zi} \cdot \cos \alpha, \quad (2)$$

где  $l_{xi}$ ,  $l_{zi}$  – расстояния по осям  $OX$  и  $OZ$  от точки приложения силы (точка 1) до  $i$ -й точки, принадлежащей стойке, мм.

Для расчётов зададимся углом наклона силы сопротивления почвы к горизонту  $\alpha = 30^\circ$  и геометрическими параметрами серийной упругой стойки для средних почв с  $l_{z \max} = 500$  мм. Эпюры изгибающих моментов от каждой проекции силы представлены на рисунках 2 б, 2 в. Эпюры моментов строятся на волокнах поперечного сечения стойки, испытывающих деформацию сжатия.

**Результаты исследования.** Как видно из представленных эпюр, горизонтальная составляющая силы сопротивления почвы сжимает волокна с одной стороны стойки, когда вертикальная составляющая оказывает переменное действие по длине. К примеру, на участке с точками 1, 2, 3 действие моментов от проекций сил суммируется, когда на участке с точками 4–9 моменты имеют разнонаправленное действие. Для общей оценки действия проекции сил сопротивления почвы определим суммарный изгибающий момент:

$$M(F_x, F_z) = \sqrt{M_{F_x}^2 \pm M_{F_z}^2}. \quad (3)$$

Знак « $\pm$ » в формуле (3) используется в случае, если моменты в рассматриваемых точках разнонаправлены. Результаты расчётов моментов в выбранных точках представлены в виде графиков (рис. 3).

Зависимости на рисунке 3 показывают, что наибольший изгибающий момент создаёт

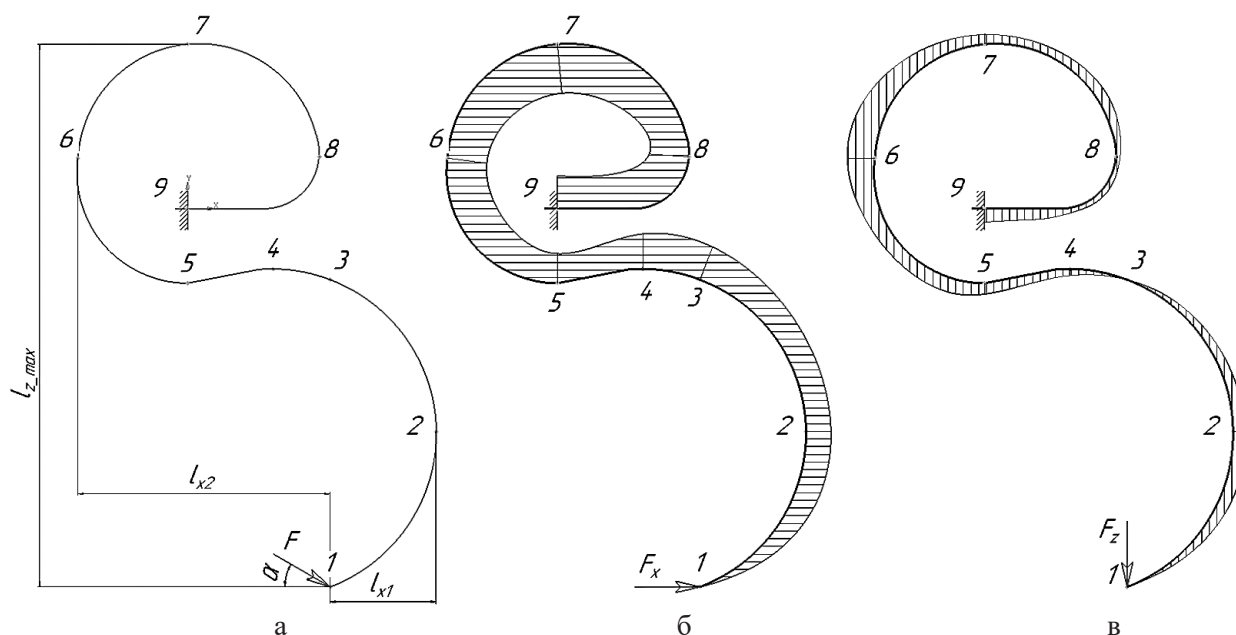


Рис. 2 – Расчётная схема и эпюры изгибающих моментов S-образной стойки:

а – характерные точки по длине стойки; б – эпюра момента от горизонтальной составляющей силы сопротивления почвы; в – эпюра момента от вертикальной составляющей силы сопротивления почвы

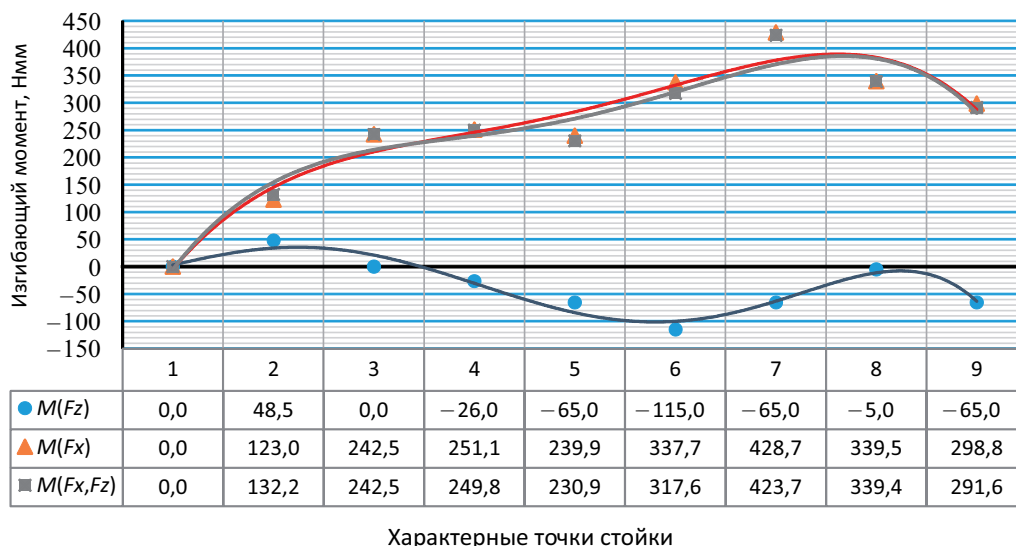


Рис. 3 – Значение изгибающих моментов по длине стойки

горизонтальная составляющая силы сопротивления почвы. Наибольший момент возникает на участках между точками 5 и 9. Основываясь на выражении (2), можно утверждать, что перемещение точки 1 прямо пропорционально значению изгибающего момента и длине стойки. Соответственно уменьшение значения этих параметров приведёт к снижению перемещения точки 1. Если длина стойки является величиной постоянной, то значение изгибающего момента может варьироваться путём применения автоматического регулятора жёсткости, который создаёт противоположно направленный изгибающий момент. Для наибольшего эффекта регулятор жёсткости необходимо расположить так, чтобы максимально уменьшить моменты в точках 5, 6, 7, 8. На рисунке 4 показаны эпюры моментов от силы сопротивления регулятора жёсткости, расположенного в разных точках. При приложении силы  $F_1$  в точке 5 (рис. 4 а) максимальный изгибающий момент возникает в точке 6, но в точке 7 он практически равен 0. При приложении силы на участке между точками 5 и 6 таким образом, чтобы горизонтальная составляющая

стремилась к максимуму (рис. 4 б), мы получаем максимальный изгибающий момент в точке 7.

Проведём анализ суммарного изгибающего момента при следующих случаях расположения силы  $F_1$ : при приложении силы в точку 5 обозначим индексом 1, второй вариант – с индексом 2. Определим суммарный изгибающий момент от действия силы сопротивления почвы и силы, которую создаёт регулятор жёсткости (для наглядности примем значение силы 2 Н):

$$M(F_x, F_z, F_1) = \sqrt{M_{F_x}^2 \pm M_{F_z}^2 \pm M_{F_1}^2}. \quad (4)$$

Полученные результаты представим в виде графических зависимостей, которые показаны на рисунке 5.

На представленных графиках видно, что значение суммарного момента при втором варианте расположения регулятора во всех представленных точках меньше. Значит, данное расположение автоматического регулятора жёсткости можно принять как оптимальный вариант, который компенсирует действие силы сопротивления почвы с меньшими затратами энергии. Для создания компенсирующей силы предлагается применить автоматический регулятор жёсткости на основе гибкого трубчатого элемента (рис. 6) [12–14].

Предлагаемая конструкция культиваторной стойки с автоматическим регулятором состоит из лапы 1, закреплённой на S-образной стойке 2, которая фиксируется на раме культиватора 3 с помощью кронштейна 4 и болта с проушиной 5. В качестве автоматического регулятора жёсткости в конструкции применяется гибкий трубчатый элемент (ГТЭ) 6, жёстко закреплённый на раме культиватора. На другом конце элемента установлен кронштейн 7, соединяющий элемент 6 подвижно относительно стойки 2. В ГТЭ со стороны верхнего крепления предусмотрен штуцер 8, соединяющий внутреннюю полость элемента с

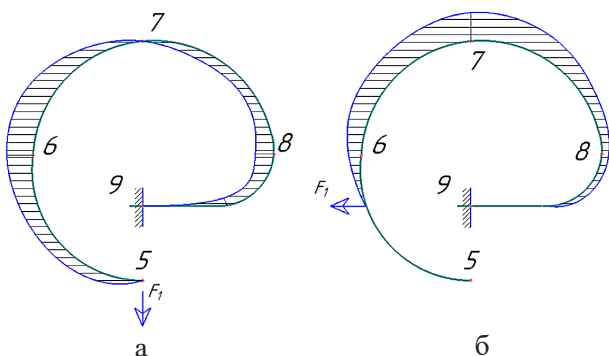


Рис. 4 – Эпюры моментов от действия регулятора жёсткости

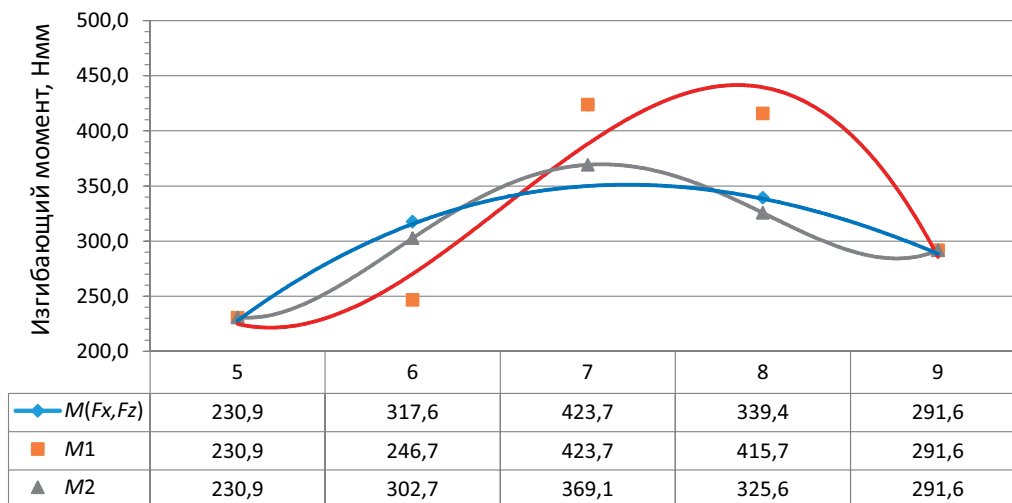


Рис. 5 – Значение общего суммарного момента в верхних точках стойки

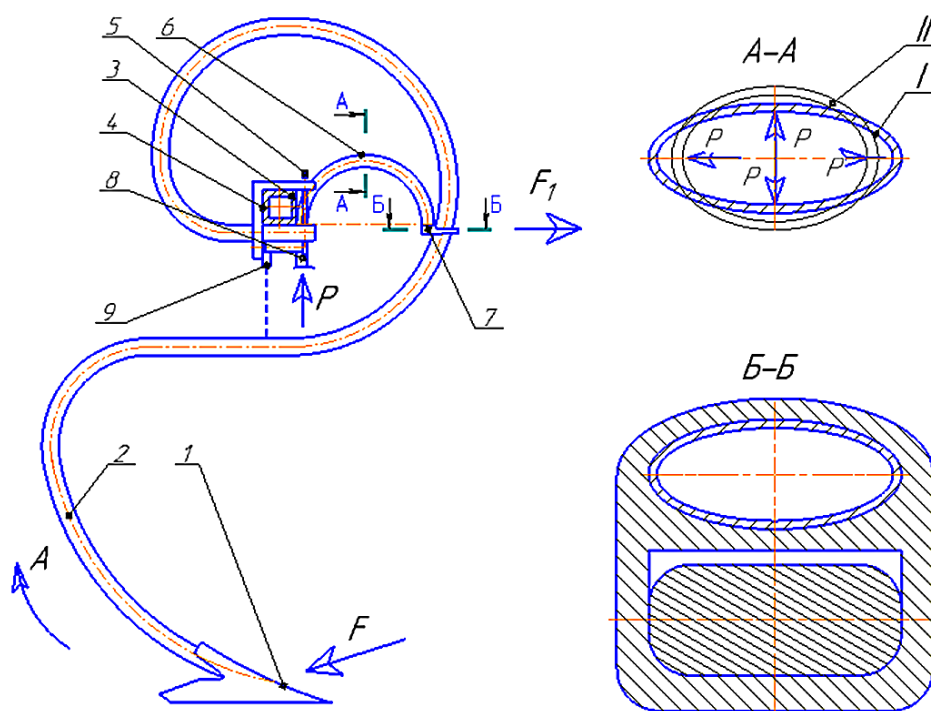


Рис. 6 – Упругая стойка с автоматическим регулятором жёсткости

гидравлической системой трактора. В поперечном сечении гибкий трубчатый элемент представляет собой полую трубку эллиптического сечения (рис. 6: сечение А – А, положение I). При подаче жидкости под давлением в полость элемента его сечение деформируется, стремясь к окружности (рис. 6: сечение А – А, положение II), создавая на свободном конце силу, которая направлена в противоположную сторону от крепления. Также в предлагаемой конструкции регулятора жёсткости предусмотрен датчик 9, измеряющий расстояние от рамы до S-образной стойки. При работе почвообрабатывающего агрегата в поле сила сопротивления почвы, действующая на рабочий орган, постоянно изменяется. В связи

с этим возникает необходимость регулировки жёсткости стойки в процессе работы агрегата для стабилизации глубины движения лапы в почве. В предлагаемой конструкции датчик 9 учитывает изменение расстояния между рамой и стойкой. На основании этих показателей блок управления регулирует давление жидкости, подаваемое в полость ГТЭ. С увеличением давления сила регулятора жёсткости  $F_1$  возрастает, компенсируя действие силы сопротивления почвы, и возвращает лапу на необходимую глубину обработки. Такая конструкция системы регулирования позволит не только применять её на новых конструкциях культиваторов, но и устанавливать на культиваторы, уже используемые в работе.

**Выводы.** Для снижения тягового сопротивления при культивации почвы целесообразно использовать упругие стойки, которые способствуют вибрационному воздействию на пласт почвы. Основным недостатком таких стоек является неравномерность глубины обработки почвы в связи с изменением физико-механических свойств почвы. Для соблюдения глубины обработки на почвах с различными физико-механическими свойствами предложен регулятор жёсткости в виде ГТЭ, который в автоматическом режиме имеет возможность изменять силу, компенсирующую действие силы сопротивления почвы, тем самым стабилизируя глубину обработки почвы культиваторными лапами. Определено оптимальное положение регулятора в конструкции стойки культиватора, позволяющее максимально эффективно использовать свойства гибких трубчатых элементов.

### Литература

1. Абрамов Н.В., Бакшеев Л.Г., Килин П.М. Инновационные и ресурсосберегающие технологии – основное направление развития АПК Тюменской области // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2004. № 6. С. 35–39.
2. Беляев В.И. Рациональные параметры технологии «no-till» и прямого посева при возделывании сельскохозяйственных культур в Алтайском крае // Вестник алтайской науки. 2015. № 1 (23). С. 7–12.
3. Рзаева В.В. Засорённость яровой пшеницы при различных способах обработки почвы в Северном Зауралье // Земледелие. 2013. № 8. С. 25–27.
4. Горбачёв И.В., Мехедов М.А. Чем и как проводить культивацию // Сельский механизатор. 2008. № 4. С. 34–35.
5. Оптимальные параметры упругих рабочих органов блочно-модульных культиваторов / Н.К. Мазитов, Р.Л. Сахапов, Н.Х. Галаяудинов [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 7. С. 30–32.
6. Зависимость качества поверхностной обработки почвы от жёсткости стойки / С.Е. Фёдоров, М.Н. Чаткин, А.А. Жалнин [и др.] // XLV Огарёвские чтения: матер. науч. конф. Саранск, 2017. С. 31–34.
7. Пат. РФ № 2464757. Культиватор / Е.В. Сливичский, Р.В. Анутов, Д.Е. Тищенко, С.Ю. Радин. 05.05.2011.
8. Дмитриев С.Ю., Дмитриев Ю.П. Автоматический регулятор жёсткости упругой стойки культиватора // Труды ГОСНИТИ. 2012. Т. 110. № 1. С. 85–87.
9. Семизоров С.А. Эффективность применения систем спутниковой навигации при посеве зерновых культур // Агропродовольственная политика России. 2015. № 10 (46). С. 31–34.
10. Труфляк Е.В. Сенсорика. Краснодар: КубГАУ, 2016. 33 с.
11. Кокошин С.Н., Кизуров А.С. Автоматизация глубины посева зерновых // Агропродовольственная политика России. 2014. № 3 (27). С. 30–32.
12. Кокошин С.Н. Культиваторные стойки с изменяемой жёсткостью // Сельский механизатор. 2012. № 5. С. 8.
13. Пирогов С.П., Чуба А.Ю. Применение гибких трубчатых элементов в сельском хозяйстве // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 37 (71). С. 150–151.
14. Пирогов С.П., Чуба А.Ю. Применение манометрических пружин в сельскохозяйственных машинах // Агропродовольственная политика России. 2017. №9 (69). С. 28–31.

**Кокошин Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент  
**Ташланов Владислав Игоревич**, аспирант  
 ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»  
 Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7  
 E-mail: kokoshinsn@gausz.ru; tashlanov\_vlad@mail.ru

## Method for stabilizing the depth of tillage with cultivators with elastic tines

**Kokoshin Sergey Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
**Tashlanov Vladislav Igorevich**, postgraduate  
 Northern Trans-Ural State Agricultural University  
 7, Republic St., Tyumen, 625003, Russia  
 E-mail: kokoshinsn@gausz.ru; tashlanov\_vlad@mail.ru

The article considers the possibility of stabilizing the depth of soil cultivation with cultivator feet on elastic racks by using an automatic stiffness controller made on the basis of a flexible tubular element. The versatility of the proposed device is that by changing the hydraulic pressure supplied to its internal cavity, the force of the element's action on the rack changes. The determination of the movement of the cultivator's foot from the action of the soil resistance force is proposed to be determined using the Mohr integral. To use an automatic controller, it is necessary to determine its optimal position in the rack structure. For this purpose, two installation methods were considered that create different bending moments on the most loaded part of the rack. Plots of bending moments and graphical dependencies are presented that show the nature of the bending moment change taking into account the action of the soil resistance force. Based on the analysis, the optimal position of the stiffness regulator in the design of the elastic stand of the cultivator is proposed, in which the compensation of movement from the soil resistance force occurs with minimal energy expenditure on the part of the tractor's hydraulic system.

**Key words:** cultivator, tillage, depth, stabilization. Depth tracking system, automation, stiffness controller.