

## Скоростной энергосберегающий культиватор

### Speed energy-saving cultivator

Н. Е. РУДЕНКО, д-р с.-х. наук  
С. Д. КАЙВАНОВ, инж.  
Ф. Н. ЗАВЯЛИК, студ.

Ставропольский государственный  
аграрный университет, Ставрополь, Россия,  
kajwanov@yandex.ru

N. E. RUDENKO, DSc in Agriculture  
S. D. KAYVANOV, Engineer  
F. N. ZAVYALIK, Student

Stavropol State Agrarian University,  
Stavropol, Russia,  
kajwanov@yandex.ru

В качестве рабочих органов культиваторов используют стрельчатые лапы, состоящие из лемеха и стойки. Основные характеристики лемеха — угол раствора лезвий и угол крошения. Для схода подрезанных сорняков угол раствора лезвий не превышает 70 градусов. Чем больше угол крошения, тем интенсивнее воздействие на почву. В процессе работы культиватора возникают и негативные явления: происходит смещение почвы в стороны, образование бороздок, вынос влажной почвы на дневную поверхность. Из-за расположения копирующих элементов культиватора на расстоянии от рабочих органов возрастает вариабельность глубины обработки. Предложен рабочий орган, в котором копирующие и рабочие функции совмещены, что позволяет четко выдерживать глубину обработки почвы. В качестве копирующего элемента используется плоский лемех с углом крошения, равным нулю. Почвообрабатывающим органом служит спираль, выполненная в виде пружины сжатия, которую устанавливают по заднему обрезу лемеха. Диаметр спирали 50—60 мм, диаметр проволоки 3—4 мм. В процессе работы лемех со стойкой перемещается по поверхности без отбрасывания почвы, а спирали в почве осуществляют рыхление и создание мелкокомковатой структуры верхнего слоя. При этом витки спирали воздействуют на комки почвы путем растяжения, существенно снижая затраты энергии. Рабочие органы крепятся на грядилях, выполненных из пластинчатых пружин и обеспечивающих постоянное удержание спирали в почве. Отсутствие отбрасывания почвы позволяет культиватору работать со скоростью 4—5 м/с, что существенно повышает его производительность. Рост производительности осуществляется не за счет увеличения ширины захвата, связанного с повышением материалоемкости, а за счет роста скорости.

**Ключевые слова:** культиватор; спираль; грядиль; лемех; почва.

A-hoe blades consisting of a share and a frog are used as working organs of cultivators. Main characteristics of share are the expansion angle of blades and the crumbling angle. For falling away of cut weed, the expansion angle should not exceed 70 degrees. The higher crumbling angle provides more intensive effect on the soil. There are also negative effects in working process: soil displacement aside, formation of grooves, removal of moist soil to the daylight surface. As far as copying elements of cultivator are separated by a distance from working organs, the variability of operating depth is increased. The article proposes a working organ combining copying and work functions, that allows to maintain precisely the operating depth. Flat share with crumbling angle equal to zero is used as a copying element. Spiral made as compression spring is used as a tillage tool; it is mounted on the back edge of share. Its diameter is 50—60 mm; the diameter of wire is 3—4 mm. During operation, the share with frog moves over the surface without casting-off the soil. The spirals loosen the soil and create the aggregate structure of topsoil. The turns of spiral affect the soil clods by spring tension and dramatically reduce the energy consumption. Working organs are mounted on plough beams made from leaf springs and ensure constant retention of spiral in the soil. Without casting-off the soil, the cultivator is able to work at the speed of 4—5 m/s, which significantly improves its performance. The performance gain is obtained not by extension of grasp width, which is related to the increase in materials consumption, but due to speed increase.

**Keywords:** cultivator; spiral; plough beam; share; soil.

#### Введение

В качестве рабочих органов культиваторов используют стрельчатые лапы (рис. 1). Они состоят из стойки и лемеха, выполняющего функцию ножа и рыхлителя. Основные характеристики стрельчатой лапы: ширина захвата  $b_d$ , угол раствора лезвий лемеха  $2\gamma$ , угол крошения  $\alpha$ , угол наклона крыла к горизонтальной плоскости  $\varepsilon$ .

Для плоскорежущих стрельчатых лап  $\alpha = 8...10^\circ$ ;  $\varepsilon = 15...18^\circ$ ; для рыхлительных  $\alpha = 15...18^\circ$ ;  $\varepsilon = 25...30^\circ$  [1]. Угол  $2\gamma$  варьируется в пределах от 60 до 70°, глубина хода стрельчатых лап (глубина обработки почвы) — до 0,1—0,12 м.

В процессе работы культиватора возникают негативные явления: происходит смещение почвы в стороны,

образование бороздок, вынос влажной почвы на дневную поверхность. Из-за расположения копирующих элементов культиватора на расстоянии от рабочих органов возрастает переменность глубины обработки.

### Цель исследования

Цель исследования заключается в обосновании инновационного технического решения скоростного энергосберегающего культиватора, позволяющего четко выдерживать глубину обработки почвы.

### Материалы и методы

В процессе работы культиватора и лемех, и стойка воздействуют на почву. При воздействии лемеха (рис. 2, а) образуются две составляющие силы  $F$ : касательная  $F_K$  и нормальная  $F_H$ , которая приводит к появлению силы трения  $F_{тр}$ . В результате сдвига почвы в стороны создается невыровненная поверхность.

При воздействии стойки на почву (рис. 2, б) возникают сила нормального давления  $F_H$  и сила трения  $F_{тр}$ . Равнодействующая этих сил  $F_C$  приводит к отбрасыванию почвы, образованию бороздки, выносу влажной почвы на поверхность. Величину отбрасывания почвы стойкой можно определить по формуле:

$$b_o = \frac{V^2}{2g} f \sin \beta,$$

где  $V$  — скорость рабочего движения культиватора, м/с;  $f$  — коэффициент трения почвы о поверхность стойки;  $\beta$  — угол схода почвы со стойки, град.

Чтобы получить  $\beta = 0$ , нужно исключить взаимодействие стойки с почвой.

В общем случае среднее квадратическое отклонение глубины обработки почвы можно представить как:

$$\sigma = f(F_y, V_o, T_{п} \cdot \Gamma, l), \quad (1)$$

где  $F_y$  — удельное сопротивление почвы, Н/м<sup>2</sup>;  $V_o$  — объем почвы, отбрасываемой лемехом и стойкой, м<sup>3</sup>;  $T_{п}$ ,  $\Gamma$  — твердость почвы, Па, и гребнистость, м, в зоне перемещения копирующих органов культиватора;  $l$  — расстояние от копирующих до рабочих органов, м.

Исходя из зависимости (1), для уменьшения переменной глубины обработки нужно исключить отбрасывание почвы лемехом и стойкой ( $V_o$ ). Для этого стойка должна располагаться выше поверхности почвы и не взаимодействовать с ней. Лемех должен иметь угол крошения  $\alpha = 0^\circ$ , а почвообрабатывающий элемент — осуществлять разнонаправленное воздействие на почву в паре с лемехом, не вынося почву на поверхность [2]. Чтобы исключить влияние копирующего элемента ( $T_{п}$  и  $\Gamma$ ,  $l$ ), нужно совместить копирующие функции с рабочими.

### Результаты и их обсуждение

Обоснованным требованиям в значительной степени соответствует комбинированный рабочий орган культиватора, представленный на рис. 3.

#### Характеристика лемеха

Лемех представляет собой плоскорежущий нож с углом крошения  $\alpha = 0^\circ$ , выполненный в виде равнобедренного треугольника. Угол раствора лезвий лемеха  $2\gamma = 60^\circ$ , угол заточки  $10^\circ$ .

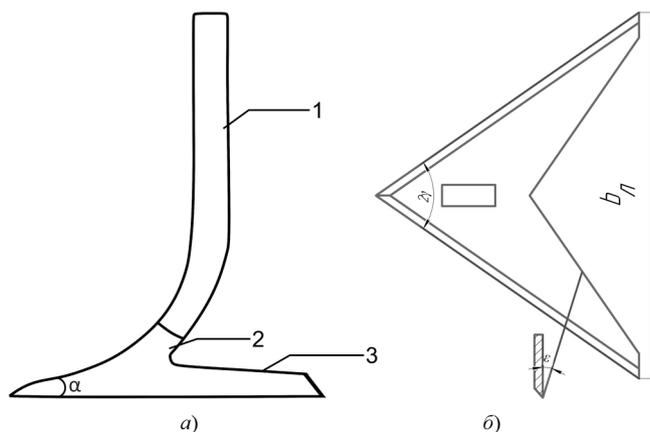


Рис. 1. Схема стрелчатой лопы:

а — вид сбоку; б — вид сверху; 1 — стойка; 2 — лемех; 3 — заточка

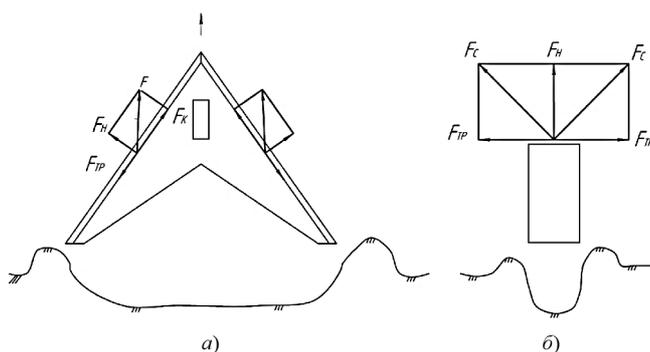


Рис. 2. Схема сил воздействия стрелчатой лопы на почву:

а — лемехом; б — стойкой

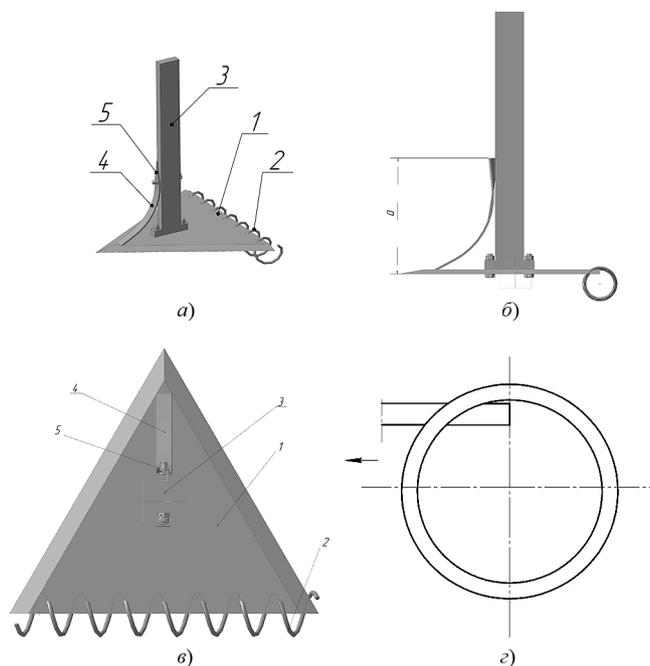


Рис. 3. Комбинированный рабочий орган:

а — общий вид; б — вид сбоку; в — вид сверху; г — схема заправки спирали; 1 — лемех; 2 — спираль; 3 — стойка; 4 — наральник; 5 — концевая часть

Угол  $\gamma$  определяет как ширину захвата лемеха, так и его длину. Для снижения смещения почвы и более эффективного подрезания почвы и сорняков угол  $\gamma$  нужно уменьшать. Однако при заданной ширине захвата  $b_{\text{л}}$  уменьшение  $\gamma$  приводит к увеличению длины лемеха  $l_{\text{л}}$  [3]:

$$l_{\text{л}} = \frac{b_{\text{л}}}{2\text{tg}\gamma}.$$

Увеличение  $l_{\text{л}}$  может приводить к налипанию почвы на лемех, смазыванию дна бороздки. Поэтому угол  $\gamma$  устанавливают в пределах 30–35°.

Ширину захвата лемеха определим по формуле:

$$b_{\text{л}} = \frac{B + n_{\text{г}}\delta}{n_{\text{г}}},$$

где  $B$  — ширина захвата культиватора, м;  $n_{\text{г}}$  — количество грядилей на культиваторе, шт.;  $\delta$  — перекрытие между лемехами, м.

Для культиватора с шириной захвата  $B = 4$  м ширина захвата лемеха  $b_{\text{л}} = 0,36$  м. Толщина лемеха 5 мм, материал — сталь 65Г.

Удерживающую способность лемеха определим по формуле:

$$F_{\text{у}} = K_{\text{д}}S_{\text{л}},$$

где  $K_{\text{д}}$  — удельное давление на почву, не приводящее к образованию колеи, Па;  $S_{\text{л}}$  — площадь лемеха, м<sup>2</sup>.

$$S_{\text{л}} = \frac{b_{\text{л}}^2}{4\text{tg}\gamma}.$$

Отсюда

$$F_{\text{у}} = \frac{kb_{\text{л}}^2}{4\text{tg}\gamma}.$$

Получим  $F_{\text{у}} = 158$  Н.

Усилие, с которым лемех давит на почву:

$$F_{\text{д}} = mg,$$

где  $m$  — масса рабочего органа и части секции, кг.

Если  $F_{\text{д}} < F_{\text{у}}$ , лемех будет свободно перемещаться по поверхности почвы, не заглубляясь в нее.

Таким образом, лемех выполняет функцию копирующего элемента, а расположенная на нем почвообрабатывающая спираль — рабочую функцию. Следовательно,  $l = 0$  и показатель стабильности глубины обработки  $P_{\text{с}} = 100$  %.

#### Характеристика почвообрабатывающей спирали

Почвообрабатывающая спираль выполнена в виде пружины сжатия, которую навивают на задний обрез лемеха. Ввиду того, что обработка почвы предусматривается на глубину 0,04–0,05 м, принимают наружный диаметр спирали  $D = 50$  мм. Диаметр проволоки  $d = 3...4$  мм, материал проволоки — сталь 60С2А.

Шаг спирали:

$$t = \pi D \text{tg}\beta,$$

где  $\beta$  — угол наклона винтовой линии почвообрабатывающей спирали, град.

Для того чтобы почва крошилась и не происходило забивания спирали, принимаем  $t = D$ . Тогда  $\text{arctg}\beta = \frac{1}{\pi}$ ;  $\beta = 17^\circ$ .

Витки почвообрабатывающей спирали пропускают сквозь косые отверстия, просверленные в лемехе (см. рис. 3, з).

Усилие, необходимое для заглубления спирали:

$$F_{\text{г}} = 3,18d(D - d) \left[ \frac{b_{\text{л}} - 2d}{t} + 2 \right] [1 + \varepsilon(V - V_0)]k, \quad (2)$$

где  $V$  — скорость рабочего движения культиватора, км/ч;  $V_0 = 6$  км/ч — начальная скорость;  $\varepsilon = 0,02...0,03$  — скоростной коэффициент, (км/ч)<sup>-1</sup>;  $k$  — удельное сопротивление почвы, Н/м<sup>2</sup>.

Подставив в формулу (2) известные значения, определим усилие  $F_{\text{г}}$  при работе культиватора со скоростью 16 км/ч. Получим  $F_{\text{г}} = 209$  Н.

#### Характеристика наральника

Нижняя часть наральника 4 (см. рис. 3), до его крепления к стойке, выполнена криволинейной: заход под 26° к горизонтали, выход к стойке под 90°. Верхняя часть 5 выполнена как поверхность Мебиуса, что обеспечивает сброс со стойки срезанной растительности. Благодаря тому, что лента Мебиуса плоская, без кривизны и впадин, растительность свободно перемещается по ней.

Угол  $\delta_{\text{н}}$  установки нижней части наральника к горизонтальной плоскости определяется углом  $\varphi_{\text{р}}$  трения растительности о стальную поверхность наральника [4]:

$$\delta_{\text{н}} \leq \varphi_{\text{р}}.$$

Высоту наральника  $a$  можно определить, исходя из равенства кинетической и потенциальной энергий при подъеме растительной массы:

$$\frac{m(V\cos\delta_{\text{н}})^2}{2} = mga(1 + \text{tg}\varphi_{\text{р}}).$$

Отсюда

$$a = \frac{(V\cos\delta_{\text{н}})^2}{2g(1 + \text{tg}\varphi_{\text{р}})}.$$

Получим  $a = 0,23$  м.

#### Характеристика пластинчатого пружинного грядиля

Исходя из конструкционных соображений, примем сечение грядиля  $b_{\text{г}} = 80$  мм;  $t_{\text{г}} = 8$  мм. Тогда длина грядиля:

$$l_{\text{г}} = 3 \sqrt{\frac{DEb_{\text{г}}t_{\text{г}}^3}{4F_{\text{г}}}},$$

где  $E = 2,12 \cdot 10^{11}$  — модуль упругости, Па.

Подставив известные значения, получим  $l_{\text{г}} = 0,8$  м.

Концевая часть грядиля установлена шарнирно. На ней расположены два прямоугольных отверстия, в которые вставляются стойки лап. Концевая часть не перемещается вверх, а вниз поворачивается на угол 30°.

Перед началом работы путем удлинения центральной тяги навесного устройства трактора грядиль в зоне стоек лап опускают на  $D = 50$  мм. При заглублении спирали в почву грядиль прогибается, поднимая концевую часть на 50 мм, и устанавливается в горизонтальном положении.

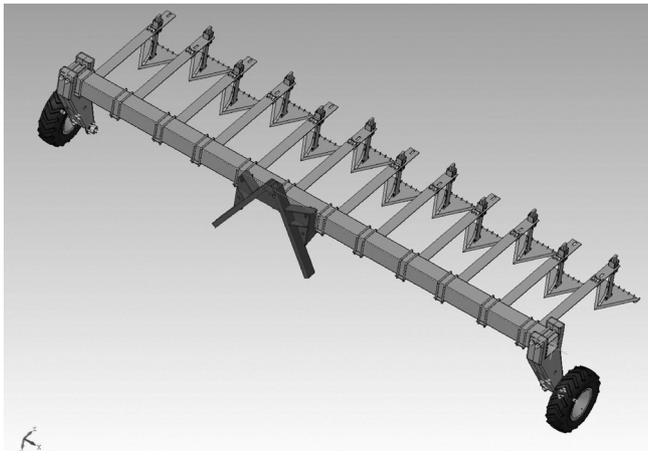


Рис. 4. Общий вид скоростного энергосберегающего культиватора

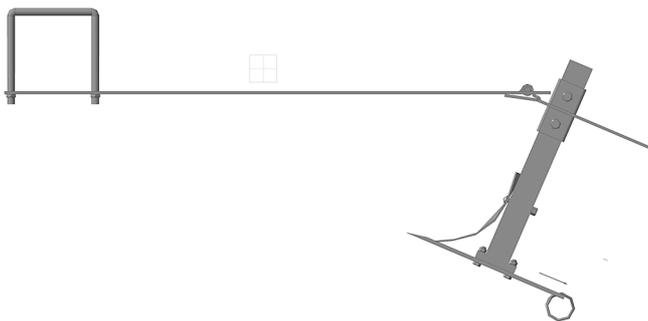


Рис. 5. Схема поворота концевой части грядиля

Известно, что производительность культиватора:

$$W = 0,36VB,$$

где  $V$  — скорость рабочего движения, м/с;  $B$  — ширина захвата культиватора, м.

Производительность можно повышать, увеличивая либо скорость, либо ширину захвата. Однако увеличение ширины захвата снижает эксплуатационную надежность, а значит, и сменную производительность, уменьшает маневренность. Усложняется конструкция, так как необходимо выдерживать транспортную ширину захвата. Увеличивается материалоемкость вспомогательных частей по сравнению с рабочей частью машины.

С увеличением скорости растет устойчивость хода машины, увеличивается импульс сил в направлении движения, что приводит к улучшению качественных показателей. Поэтому эффективнее увеличивать скорость рабочего движения до 4–5 м/с при меньшей ширине захвата, сохраняя высокую производительность. Оптимальной для энергосберегающего скоростного культиватора (рис. 4) можно считать ширину захвата  $B = 4$  м.

Стойки лап на соседних грядилях поочередно вставляют в передние и задние отверстия концевых частей, чтобы обеспечить необходимое перекрытие лемехов. При поднятии культиватора на поворотной полосе концевые части грядилей, установленные шарнирно, поворачиваются на 30° вниз (рис. 5). С наклоненных лемехов сходят остатки сорняков и попавшая на них почва. Происходит самоочистка.

При заезде на участок культиватор опускают на ходу, спираль заглубляется, и грядиль под действием реакции почвы устанавливается в горизонтальном положении. Грядиль в виде пластинчатой пружины обеспечивает перемещение лемеха по поверхности почвы, а спирали в почве осуществляют рыхление и создание мелкокомковатой структуры верхнего слоя. При этом витки спирали воздействуют на комки почвы путем растяжения, что существенно снижает затраты энергии [5].

## Вывод

При работе скоростного энергосберегающего культиватора происходит выравнивание поверхности, почвообрабатывающая спираль осуществляет рыхление верхнего слоя почвы. Подрезанные сорняки не висят на стойке, так как этому препятствует наральник. Сорняки поднимаются по нижней криволинейной части, а затем сбрасываются со стойки верхней частью, выполненной как поверхность Мебиуса.

Поскольку стойка не заглубляется в почву, культиватор с рабочими органами может работать на повышенной скорости 4–5 м/с. Это обеспечивает повышение производительности. Благодаря тому, что с почвой взаимодействует только почвообрабатывающая спираль и отсутствует отбрасывание почвы, существенно снижаются затраты энергии на выполнение технологического процесса.

## Литература и источники

1. Кленин Н. И., Сакун В. А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1994. 751 с.
2. Руденко Н. Е., Кулаев Е. В., Руденко В. Н. Механизация растениеводства. Ставрополь: Агрус, 2014. 236 с.
3. Падальцин К. Д., Руденко Н. Е., Горбачев С. П. и др. Определение тягового сопротивления широкозахватных культиваторов для поверхностной обработки почвы // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: Сб. науч. статей Ставропольского ГАУ. Ставрополь: Агрус, 2015. С. 197–200.
4. Руденко Н. Е. Технологические и силовые характеристики почвообрабатывающих рабочих органов. Ставрополь: Агрус, 2014. 92 с.
5. Панов И. М. Выбор энергосберегающих способов обработки почвы // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1990, № 8. С. 32–35.

## References

1. Klenin N. I., Sakun V. A. *Sel'skokhozyaystvennyye i meliorativnyye mashiny* [Agricultural and ameliorative machines]. Moscow, Kolos Publ., 1994, 751 p.
2. Rudenko N. E., Kulaev E. V., Rudenko V. N. *Mekhanizatsiya rastenievodstva* [Mechanization of crop production]. Stavropol, Agrus Publ., 2014, 236 p.
3. Padal'tsin K. D., Rudenko N. E., Gorbachev S. P., Rudenko V. N. Determining the traction resistance of wide-cut cultivators for surface tillage. *Aktual'nye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK: Sb. nauch. statey Stavropol'skogo GAU* [Current issues of scientific and technical progress in agroindustrial complex. Proc. of Stavropol State Agrarian University]. Stavropol, Agrus Publ., 2015, pp. 197–200 (in Russ.).
4. Rudenko N. E. *Tekhnologicheskie i silovye kharakteristiki pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov* [Technological and power characteristics of tillage tools]. Stavropol, Agrus Publ., 2014, 92 p.
5. Panov I. M. Choosing energy-saving methods of tillage. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*, 1990, no. 8, pp. 32–35 (in Russ.).