

## Зона рыхления почвы культиваторной лапой

**Владимир Васильевич Василенко,**  
доктор технических наук, заслуженный профессор,  
vladva.vasilenko@yandex.ru;

**Сергей Владимирович Василенко,**  
кандидат технических наук, доцент кафедры;  
**Виталий Сергеевич Борзило,**  
магистрант кафедры

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация

**Реферат.** Культиваторные лапы расставляют дистанционно относительно друг друга или в составе комбинированных рабочих органов со сферическими дисками, чизельными и другими органами, поэтому распространение зоны деформации почвы при их работе на различную глубину и с различной скоростью движения представляет интерес для конструкторов при расчете технологических проходов для почвы во избежание их забивания. (*Цель исследования*) Определить зависимость ширины зоны рыхления почвы культиваторной лапой от глубины хода и скорости движения. (*Материалы и методы*) Провели исследования на стерневом фоне после уборки озимой пшеницы. Влажность и твердость почвы на глубине от 0 до 30 сантиметров изменялась соответственно от 9 до 13 процентов и от 0,28 до 0,87 Мегапаскалей. Состав агрегата – трактор МТЗ Беларусь 1221,2 и культиватор КРН-5,6. На каждой секции культиватора установили стрельчатую универсальную лапу с конструктивной шириной захвата 220 миллиметров. (*Результаты и обсуждение*) Выявили, что лапа образует взрыхленную полосу и полосу разброса почвы, ширина которых линейно зависит от глубины обработки и в пределах от 10 до 22 сантиметров изменяется соответственно от 31 до 42 и от 38 до 58 сантиметров. Скорость движения агрегата от 3 до 13 километров в час не оказывает влияния на ширину зоны рыхления, а зона разброса почвы увеличивается по закону слабо выраженной квадратичной параболы. Предложены эмпирические зависимости ширины зон рыхления и разброса от глубины обработки, скорости движения и ширины захвата лапы. (*Выводы*) Интервал между лапами в одном ряду не должен быть меньше указанной ширины зоны рыхления. Приведен пример удачной расстановки рабочих органов шириной 410 миллиметров на комбинированных агрегатах серии РВК. Комбинированные орудия работают с высокой технологической надежностью по стерне подсолнечника, не забиваясь почвой и растительными остатками при основной обработке поля по технологии минимального воздействия.

**Ключевые слова:** зона рыхления, зона разброса почвы, глубина обработки, скорость движения, линейная зависимость, квадратичная парабола, рыхлитель-выравниватель почвы.

**■ Для цитирования:** Василенко В.В., Василенко С.В., Борзило В.С. Зона рыхления почвы культиваторной лапой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 48-52. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52

## Zone of Soil Loosening with Cultivator Sweeps

**Vladimir V. Vasilenko,**  
Dr.Sc.(Eng.), honored professor,  
e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru;

**Sergey V. Vasilenko,**  
Ph.D.(Eng), associate professor;  
**Vitaliy S. Borzilo,**  
M.Sc. student

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Voronezh, Russian Federation

**Abstract.** Cultivator sweeps are placed remotely relative to each other or as parts of combined working tools with spherical discs, chisels and other parts, so the propagation of a zone of soil deformation during their operation at different depths and at different speeds is studied by designers for the calculation of technological runs in order to avoid their clogging with soil. (*Research purpose*) To determine the dependence of the width of the soil loosening zone with a cultivator sweep on the depth of travel and the speed of travel. (*Materials and methods*) Studies have been conducted on a stubble soil background after harvesting of winter wheat. Humidity and hardness of soil at a depth of 0 to 30 centimeters varied accordingly from 9 to 13 percent and from 0.28 to 0.87 MPa. The structure of the unit has been represented by the tractor MTZ Belarus 1221,2 and the cultivator KRN-5,6. Each section of the cultivator housed a universal sweep with a design working width of 220



mm. (*Results and discussion*) It has been found that a sweep forms a loosened strip and a strip of soil scattering, the width of which depends linearly on the tillage depth ranging from 10 to 22 cm and varies in the range from 31 to 42 and 38 to 58 cm, respectively. The unit travel speed ranging from 3 to 13 km/h does not affect the width of the loosening zone, and the zone of soil scattering increases according to the law of a weakly expressed quadratic parabola. The authors present empirical dependences of the width of the loosening and scattering zones on the tillage depth, the travel speed and the sweep width. (*Conclusions*) It has been found that the interval between the sweeps in one row should not be less than the specified width of the loosening zone, which has been confirmed as exemplified by a successful arrangement of working elements with a width of 410 mm on the combined units of the RVK series. Combined tools work with high technological reliability for sunflower stubble, without being clogged with soil and plant residues during the main field operations performed according to the minimal impact technology.

**Keywords:** zone tillage, moving apart the soil zone, depth of processing, movement speed, linear dependence, quadratic parabola, cultivators-leveller of the soil.

**For citation:** Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Borzilo V.S. Zone of soil loosening with cultivator sweeps. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(4): 48-52. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52. (In Russian)

**К**омбинация почвообрабатывающих рабочих органов на одной раме, а иногда и на одной стойке, требует обоснования минимально возможной дистанции между составными элементами, при которой почва без забиваний будет продвигаться в технологических проходах. Культиваторные лапы часто используют в сочетании со сферическими дисками и чизельными органами, поэтому большой интерес для конструкторов-проектировщиков комбинированных орудий представляют проблемы распространения зоны деформации почвы на различную глубину и с различной скоростью перемещения в целях рациональной расстановки лап на рамах или секциях культиваторов для сплошной или междурядной обработок.

Компактность расстановки рабочих элементов необходима для уменьшения габаритов и металлоемкости изделия [1]. Особенно важно учитывать траектории движения почвенных пластов при постановке дополнительных рабочих органов на серийно выпускаемые орудия. Например, последние исследования по увеличению угла оборота почвенных пластов при отвальной вспашке доказывают, что для расширения борозды дополнительные рабочие органы должны отодвигать опрокинутый пласт только после того, как он завершит свой оборот [2, 3]. Последующий пласт беспрепятственно уляжется в широкую борозду с полным оборотом на 180°. В общем случае при одновременном воздействии на почвенный пласт или на почвенную площадку двух рабочих органов нельзя допускать наложения зон деформации обрабатываемой среды. Нужно развести во времени или в пространстве формирование этих зон, иначе увеличивается вероятность отказа орудия из-за загромождения технологических проходов для почвы. Исключение составляют лишь активные органы, имеющие вращение или вибрацию [3, 4]. При глубоком рыхлении почвы культиватором ее деформация распро-

страняется вперед и в стороны. Дальность перемещений почвы увеличивается с повышением скорости движения агрегата [5-7]. Чем больше скорость движения и глубина хода культиваторной лапы, тем больше сила взаимодействия с почвой и нормальное напряжение в конструкции лапы, а это способствует увеличению дальности перемещения почвы [8].

**Цель исследования.** Определить зависимость ширины зоны рыхления почвы культиваторной лапой от глубины хода и скорости движения.

**Материалы и методы.** Опыты проводили в одном из хозяйств Воронежской области на стерневом фоне после уборки озимой пшеницы. Влажность и твердость почвы на глубине от 0 до 30 см изменялась соответственно от 9 до 13% и от 0,28 до 0,87 МПа. Состав агрегата – трактор МТЗ Беларус 1221,2 и культиватор КРН-5,6. На каждой секции культиватора было установлено по одной стрельчатой универсальной лапе с конструктивной шириной захвата 220 мм. На участке поля размером 50×50 м агрегат выполнял рабочие проходы с предварительно установленной глубиной обработки. Время измеряли секундомером, фактическую глубину обработки и ширину взрыхленных полос – металлическими линейками. При обработке данных вычисляли средние значения результатов измерений по всем секциям культиватора.

**Результаты и обсуждение.** Визуально установлено, что стрельчатая лапа расклинивает почвенный пласт на два потока в результате деформирующего воздействия груди рабочего органа. Разрыхленные части пласта смещаются в обе стороны от оси лапы. Некоторая часть почвы поднимается на переднюю грань стойки, затем сползает с нее и отбрасывается в сторону. В результате такого воздействия за стойкой лапы образуется бороздка, размеры которой увеличиваются при повышении скорости и глубины обработки. При скорости движе-

ния агрегата 10 км/ч и более и глубине обработки 6-8 см дно борозды оголяется.

Результаты измерений ширины обработанной полосы показали, что следует различать зону рыхления и зону разброса почвы. Разброс всегда шире, чем рыхление, и если ориентироваться на него при расстановке рабочих органов на раме, то можно получить огрехи в обработке почвы. Зависимость ширины зоны рыхления от глубины обработки определяли при скорости движения агрегата 9-10 км/ч. Эта зависимость оказалась линейной (рис. 1), ее можно аппроксимировать выражением:

$$b_{\text{рых}} = b_{\text{кон}} + 0,91a, \quad (1)$$

где  $b_{\text{рых}}$  – ширина зоны рыхления, см;  $b_{\text{кон}}$  – конструктивная ширина захвата лапы, см;  $a$  – глубина обработки, см.

Зависимость ширины зоны разброса от глубины обработки также носит линейный характер:

$$b_{\text{разб}} = b_{\text{кон}} + 1,65a, \quad (2)$$

где  $b_{\text{разб}}$  – ширина зоны разброса, см.

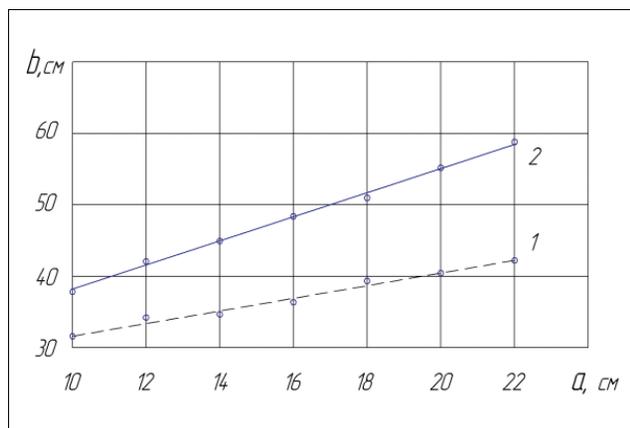


Рис. 1. Зависимость ширины зоны рыхления (1) и зоны разброса почвы (2) от глубины хода культиваторной лапы (экспериментальные данные)

Fig. 1. Dependence of the loosening zone width (1) and the soil dispersion zone (2) on the cultivator sweep depth (experimental data)

Влияния скорости движения на ширину зоны рыхления при глубине обработки 12 см не обнаружено (рис. 2). Ширина взрыхленной полосы оставалась в пределах 33-35 см, тенденций к ее изменению не выявлено. Что касается ширины полосы разброса почвы, то ее зависимость от скорости движения можно аппроксимировать параболой:

$$b_{\text{разб}} = b_{\text{кон}} + 15,65 + 0,056V^2, \quad (3)$$

где  $V$  – скорость движения агрегата, км/ч.

Полученные эмпирические зависимости применили при проектировании рыхлителей-выравнивателей РВК-6, РВК-4, РВК-3. Их изготовление было осуществлено в творческом содружестве Воронеж-

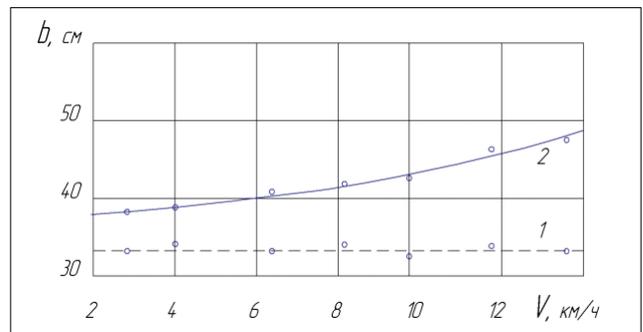


Рис. 2. Зависимость ширины зоны рыхления (1) и зоны разброса почвы (2) от скорости движения агрегата (экспериментальные данные)

Fig. 2. Dependence of the loosening zone width (1) and the soil dispersion zone (2) on the unit travel speed (experimental data)



Рис. 3. Рыхлитель-выравниватель РВК-6

Fig. 3. RVK-6 cultivator-leveler

ского государственного аграрного университета и машиностроительных малых предприятий «Аква-Свар» и «ВСЗ-Холдинг», созданных на базе Воронежского станкостроительного завода (рис. 3).

Это прицепные комбинированные орудия с различной шириной захвата для агрегатирования с тракторами тяговых классов от 1,4 до 5. Они предназначены для минимальной обработки почвы вместо отвальной вспашки. Рабочими органами служат два ряда сферических вырезных дисков диаметром 660 мм с индивидуальной системой крепления к раме, два ряда стрельчатых культиваторных лап шириной захвата 410 мм, двойной несущий каток, оборудованный плоскими вырезными дисками, и прутковый штригель для окончательного выравнивания поверхности почвы. Индивидуальное крепление дисков вместо батарейного сокращает продольный размер орудия, особенно при установке больших углов атаки. В местах, где крайние диски обращены вогнутой частью наружу, при большой скорости движения наблюдается отбрасывание почвы далеко в сторону, поэтому на раме крепятся своеобразные экраны для отражения летящей почвы внутрь ширины захвата. Набор рабочих органов на этом комбинированном орудии обеспечивает ему уверенную работу на любом агрофоне. Оно не требует предварительного лущения стерни и может за один рабочий проход подготовить почву от стерневого фона до полной готовно-



сти к посеву озимых культур. Максимальная глубина обработки доходит до 20-22 см. Преимущество комбинированных культиваторов, оборудованных сферическими дисками и лапами, проявляются в уменьшении энергозатрат и хорошем выравнивании поверхности почвы [10].

Известно, что дисковые органы формируют волнистое дно борозды. Если диаметр дисков равен 660 мм, то при двухрядной расстановке их с интервалами 500 мм в каждом ряду, глубине хода 20 см и угле атаки 25° высота остаточных гребешков на дне борозды равна 18 см. Для выравнивания дна борозды культиваторные лапы и диски отрегулированы на одинаковую глубину хода.

Ширина зоны рыхления культиваторной лапой в соответствии с выражением (1), равна 59 см. Что касается ширины зоны разброса, то по выражению (3) она равна 65 см, а с учетом выражения (2) – может достигать 80 см. Поэтому при проектировании расстановки лап расстояние между ними в одном ряду было принято равным 800 мм (рис. 4). При ширине захвата лап 410 мм обеспечивается полное подрезание почвы с минимальным перекрытием зон резания, всего 0,5 см, но этого достаточно с учетом дополнительного действия дисков.

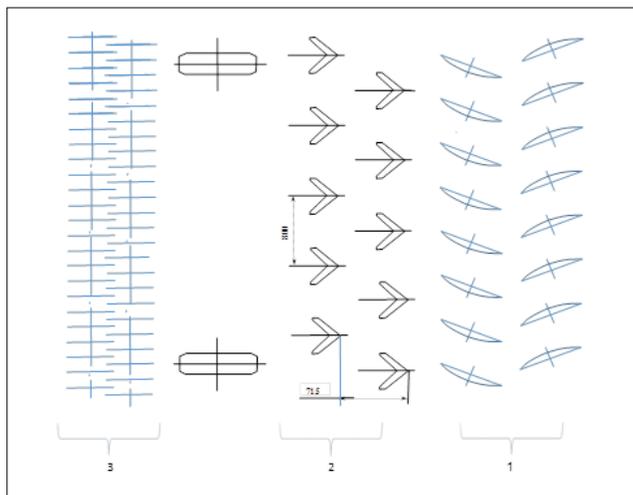


Рис. 4. Схема расстановки рабочих органов на рыхлителе-выравнивателе РВК-4 (вид сверху): 1 – два ряда сферических дисков; 2 – два ряда стрелчатых лап; 3 – двухвалный игольчато-дисковый каток

Fig. 4. Diagram of the arrangement of working tools on the cultivator-leveler RVK-4 (top view): 1 – two rows of spherical disks; 2 – two rows of sweeps; 3 – two-shaft needle roller

Продольное расстояние между рядами лап зависит от расчетной скорости движения. Во избежание перекрытия зон деформации почва, поднятая вверх передним рядом, должна успеть вернуться на поверхность поля до прихода заднего ряда лап. Вертикальная скорость подбрасывания почвы лапой может быть вычислена согласно выражению:

$$V_{\text{вер.}} = Vtga, \text{ м/с,}$$

где  $V$  – скорость движения агрегата, м/с;  $\alpha$  – угол подъема лапы, для универсальных стрелчатых лап  $\alpha = 18^\circ$ .

Подброшенная почва находится в полете в течение:

$$t = \frac{2V_{\text{вер.}}}{g}, \text{ с,}$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Из всех вариантов стандартных культиваторных лап по их ширине захвата были выбраны максимально широкие, чтобы избежать частого кола стока. Если на поле встречаются растительные остатки длинностебельных культур, то многочисленные стойки работают как грабли, накапливая на себе уцелевшие стебли.

При расчетной скорости движения агрегата  $V = 3,33$  м/с начальная скорость подбрасывания почвы  $V = 1,07$  м/с, время ее полета  $t = 0,22$  с, минимальная дистанция между рядами лап  $L = Vt = 0,71$  м. Это расстояние и предусмотрено между рядами культиваторных лап у серии рыхлителей-выравнивателей типа РВК. Такая конструкция позволила им работать без забивания почвой и растительными остатками даже по нетронутой стерне подсолнечника и за один рабочий проход подготавливать почву к посеву зерновых (рис. 5).



Рис. 5. Рыхлитель-выравниватель РВК-4 в работе по стерне подсолнечника

Fig. 5. RVK-4 cultivator-leveler operating on sunflower stubble

**Выводы.** Ширина зоны рыхления почвы стрелчатой универсальной культиваторной лапой линейно зависит от глубины ее хода (от 10 до 22 см) и изменяется от 31 до 42 см при конструктивной ширине захвата 22 см. Зона разброса взрыхленной почвы также линейно зависит от этого параметра и изменяется от 38 до 58 см при тех же глубинах хода. Скорость движения агрегата при ее варьировании от 3 до 13 км/ч не оказывает влияния на ширину зоны рыхления, а зона разброса почвы увеличивается по закону слабо выраженной квадратичной параболы. При расстановке культиваторных лап на раме ору-

дия интервал между ними в одном ряду желательнее проектировать большим или равным ширине зоны разброса почвы (при возможности) и обязательно больше ширины рыхления, определяемой по приведенным графикам. Разброс почвы формирует меньшую толщину слоя, не загромождающую технологические проходы между лапами.

Серия унифицированных прицепных комбинированных рыхлителей-выравнивателей РВК с различной шириной захвата, спроектированных по результатам приведенных расчетов, работает с полным коэффициентом технологической надежности, не забиваясь почвой и растительными остатками при основной обработке поля по технологии минимального воздействия.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефремова Е.Н. Агрофизические показатели почвы в зависимости от различных обработок почвы // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2013. №2. С. 67-72.
2. Бартнев И.М. Ударное разрушение и активный оборот почвенного пласта при вспашке // *Лесотехнический журнал*. 2016. №1. С. 98-110.
3. Василенко В.В., Василенко С.В., Зыбин М.В. Увеличение угла переворота пласта при вспашке // *Вестник Воронежского ГАУ*. Воронеж, 2013. №1(36). С. 98-100.
4. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС. 2008. 816 с.
5. Василенко В.В., Афоничев Д.Н., Василенко С.В., Тимофеев И.Ю. Обоснование направления вибрации почвообрабатывающего рабочего органа // *Вестник Воронежского ГАУ*. Воронеж, 2017. №4(55). С. 134-139.
6. Hanna H. Mark, Marley Stephen J., Erbach Donald C., Melvin Stewart W. Soil & Tillage Research, Methods for measuring soil velocities caused by a sweep 28 (1994) 315-328.
7. Руденко Н.Е., Носов И.А., Кайванов С.Д., Петухов Д.А. Ресурсосберегающий пропашной культиватор // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №4. С. 31-36.
8. Руденко Н.Е., Кайванов С.Д., Завялик Ф.Н. Инновационная стрелчатая почвообрабатывающая лапа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. №6. С. 16-20.
9. Chiorescu E., Chiorescu D. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 227 (2017) 012023 The variation of the unitary stresses occurring in the working part in relation to the type of soil, using the finite element method.
10. Fanigliulo R., Biocca M., Pochi D. Journal of Agricultural Engineering 2016; XLVII: 519 Effects of six primary tillage implements on energy inputs and residue cover in Central Italy. pp. 177-180.

### REFERENCES

1. Yefremova Ye.N. Agrofizicheskiye pokazateli pochvy v zavisimosti ot razlichnykh obrabotok pochvy [Agrophysical indices of soil depending on various soil cultivation modes] // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye*. 2013. №2: 67-72. (In Russian)
2. Bartenev I.M. Udarnoye razrusheniye i aktivnyy oborot pochvennogo plasta pri vspashke [Impact destruction and active circulation of a soil stratum in plowing] // *Lesotekhnicheskyy zhurnal*. 2016. №1: 98-110. (In Russian)
3. Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Zybin M.V. Uvelicheniye ugla pe-revorota plasta pri vspashke [Increasing the layer revolution angle in plowing] // *Vestnik Voronezhskogo GAU*. Voronezh, 2013. 1 (36): 98-100. (In Russian)
4. Klenin N.I. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny [Farm machinery]. M.: KolosS. 2008: 816. (In Russian)
5. Vasilenko V.V., Afonichev D.N., Vasilenko S.V., Timofeyev I. Yu. Obosnovaniye napravleniya vibratsii pochvoobrabatyvayushchego rabocheho organa [Determination of the vibration direction of a tillage tool] // *Vestnik Voronezhskogo GAU*. Voronezh, 2017. 4 (55): 134-139. (In Russian)
6. Hanna H. Mark, Marley Stephen J., Erbach Donald C., Melvin Stewart W. Soil & Tillage Research, Methods for measuring soil velocities caused by a sweep 28 (1994): 315-328. (In English)
7. Rudenko N.Ye., Nosov I.A., Kayvanov S.D., Petukhov D.A. Resurso-sberegayushchiy propashnoy kul'tivator [Resource-saving row-crop cultivator] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. 4: 31-36. (In Russian)
8. Rudenko N.Ye., Kayvanov S.D., Zavyalik F.N. Innovatsionnaya strel'chataya pochvoobrabatyvayushchaya lapa [Innovative sweeps] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. 6: 16-20. (In Russian)
9. Chiorescu E., Chiorescu D. The variation of the unitary stresses occurring in the working part in relation to the type of soil, using the finite element method. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 227. 2017. 1: 20-23. (In English)
10. Fanigliulo R., Biocca M., Pochi D. Journal of Agricultural Engineering 2016; XLVII:519 Effects of six primary tillage implements on energy inputs and residue cover in Central Italy 177-180. (In English)

Статья поступила в редакцию 18.05.2018  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 18.05.2018

Статья принята к публикации 25.07.2018  
The paper was accepted  
for publication on 25.07.2018

### Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.