

УДК 631.319.06

## Орудия для заделки сидератов в поверхностный слой почвы в технологии органического земледелия

## Implements for embedding of green manure into the surface soil in organic farming technology

В. Л. АСТАФЬЕВ, д-р техн. наук  
С. И. БОБКОВ, канд. техн. наук  
К. И. АЛЕКСЕНЦЕВ, инж.

Костанайский филиал Казахского  
научно-исследовательского института механизации  
и электрификации сельского хозяйства, Костанай,  
Республика Казахстан, sergbobkov@mail.ru

V. L. ASTAF'EV, DSc in Engineering  
S. I. BOBKOV, PhD in Engineering  
K. I. ALEKSENTSEV, Engineer

Kazakh Research Institute of Agricultural  
Engineering and Electrification, Kostanay branch,  
Kostanay, Republic of Kazakhstan,  
sergbobkov@mail.ru

Проанализированы способы заделки сидератов в почву. Дано описание конструкционно-технологических схем орудий, применение которых обеспечивает реализацию этих способов в технологии органического земледелия. Цель исследования заключается в разработке орудий для заделки пожнивных остатков и сидератов в поверхностный слой почвы, обеспечивающих повышение производительности и соответствующее качество технологического процесса. Эта задача особенно актуальна в настоящее время, когда использование побочной продукции растениеводства (пожнивных остатков) и сидератов в совокупности с другими факторами дает широкие возможности для повышения плодородия почвы. При проведении исследований использовались теоретические и экспериментальные методы, основанные на применении основных положений земледельческой механики, теории сельскохозяйственных машин и методов измерений, регламентируемых нормативной документацией. Приведены результаты теоретических исследований, обоснованы конструкционно-технологические схемы двух орудий. Первое орудие предназначено для измельчения растений и формирования мульчи на поверхности почвы, второе — для измельчения и заделки сидератов и пожнивных остатков в поверхностный слой. Обоснованы параметры прикатывающего катка с измельчающими элементами, который служит основным рабочим органом для обоих орудий. Представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие данные теоретических исследований по обоснованию параметров катка. Сделан вывод о том, что применение предложенных орудий в технологии органического земледелия обеспечивает качественное измельчение растений и формирование мульчи на поверхности почвы, а также измельчение и заделку сидератов и пожнивных остатков в поверхностный слой.

**Ключевые слова:** органическое земледелие; плодородие почвы; мульчирующий слой; измельчение сидератов; орудие для заделки сидератов.

The article analyzes the ways of embedding of green manure into soil; it describes the design and technological schemes of implements which can be used in organic farming technology for realization of these ways. The purpose of the research is to develop the implements for embedding of stubble remains and green manure into the surface soil, which will increase the productivity and provide proper quality of technological process. It is an actual problem at present, when the use of stubble remains and green manure with other factors gives wide range of opportunities to increase the soil fertility. Theoretical and experimental methods used in the research are based on application of the fundamentals of agricultural mechanics, the theory of agricultural machines and measurement methods regulated by standards. The article presents the results of theoretical research that substantiates the design and technological schemes of two implements. The first implement is intended for plants shredding and mulch forming on the surface of soil; the second one is for shredding of green manure and stubble remains and their embedding into the surface soil. The parameters of compacting roller with shredding elements that is a basic working organ of both implements are substantiated. The results of experimental researches are presented; they confirm the results of theoretical research on substantiation of parameters of compacting roller. It is concluded that the use of suggested implements in organic farming technology provides high-quality plants shredding and mulch forming on the surface of soil, as well as shredding of green manure and stubble remains and their embedding into the surface soil.

**Keywords:** organic farming; soil fertility; soil mulch; green manure shredding; implement for embedding of green manure.

### Введение

Современное земледелие должно быть ориентировано на рациональное использование биологических ресурсов. Получение устойчивых урожаев с.-х. культур может базироваться на использовании естественного плодородия почвы и его сохранении. Причины снижения плодородия почвы — интенсивный вынос питательных элементов и слабое гумусообразование. В настоящее время расширяется применение экологически чистой технологии органического земледелия, нацеленной в

первую очередь на постоянную работу по повышению естественного плодородия почвы [1, 2].

Основополагающие принципы органического земледелия:

1. Исключение оборачивания почвы. Допускается лишь неглубокое рыхление (до 5—7 см). Плуг заменяется плоскорезом, поскольку гумус образуется исключительно в верхнем слое почвы, а глубокая вспашка парализует процесс его образования и нарушает жизнь почвенной микрофлоры [3—5].

2. Исключение минеральных удобрений. Используются только органика в различных видах и формах — компост и другие органические удобрения, навоз, посев сидератов.

3. Ядохимикаты не применяются. Для профилактики болезней растений и появления вредителей используют биопрепараты и народные методы.

Внесение органических удобрений (навоза, компоста и др.) значительно способствует улучшению агрономических показателей почвы [6]. Однако применение навоза — довольно энергозатратный прием, альтернативой которому может служить использование зеленых удобрений, т.е. пожнивных остатков, растений-сидератов, которые успешно заменяют навоз, компост и минеральные удобрения [1]. Сидераты обогащают почву органическим веществом, важнейшим источником азота. Они также повышают связность песчаных и супесчаных почв, а тяжелые глинистые почвы делают более рыхлыми. Применение сидератов менее затратно по сравнению с навозом. Их не нужно транспортировать на поле, и они не содержат такого количества семян сорняков, как навоз.

Для повышения плодородия почвы сидераты можно заделывать в поверхностный слой в соответствии с традиционным способом либо оставлять на поверхности в качестве мульчи. Одно из правил органического земледелия состоит в том, чтобы не оставлять почву без растительного покрова. Мульчирующий слой прикрывает поверхность поля, защищает ее от перегрева и ветровой эрозии [7], помогает сохранить влагу, создает благоприятные условия для жизни червей. Распадаясь со временем под действием микроорганизмов, он выделяет минеральные элементы и питает ими растения. При этом корневая система сидератов, используемых в качестве мульчи, остается в почве и закрепляет ее, пронизывая глубокие слои, что обеспечивает так называемый биологический вертикальный дренаж. Использование остатков сидератов в качестве мульчи на поверхности обогащает почву органическими веществами, оструктурирует ее, способствует снижению плотности, что создает оптимальные условия аэрации как пахотного, так и подпахотного слоя [8, 9].

В настоящее время в Республике Казахстан не производятся орудия для заделки пожнивных остатков и сидератов в почву. Для традиционного способа заделки сидератов используют гладкие катки, которыми прикапывают растения по ходу вспашки. Затем их тщательно запахивают отвальными плугами на 22—25 см и выравнивают поверхность поля бородами или кольчатыми катками [10]. Таким образом, имеют место как минимум три прохода однооперационных орудий. Это довольно энергозатратный способ. Кроме того, в условиях Северного региона Казахстана, где почвы подвержены ветровой и водной эрозии, вынос на поверхность поля нижних богатых гумусом слоев почвы приводит к их истощению.

Для безотвальной обработки с заделкой сидератов в поверхностный слой почвы могут использоваться дисковые бороны производства стран дальнего и ближнего зарубежья. Однако их основное предназначение — поверхностное рыхление и борьба с сорняками, а не измельчение и заделка сидератов в почву. Они также могут

использоваться для заделки пожнивных остатков в слой глубиной до 10—12 см. Но при этом высота заделываемых растений не должна превышать 50 см, тогда как длина растений-сидератов может достигать 1—1,5 м, что препятствует выполнению технологического процесса из-за забивания рабочих органов.

Для создания мульчирующего слоя могут использоваться косилки, но тогда растения остаются на поверхности почвы без измельчения, что затрудняет их перегнивание и может стать помехой для последующих операций. Для укладки и измельчения растений возможно применение косилок-измельчителей типа КИР-1,5. Однако они имеют невысокую производительность (до 1,1 га/ч) из-за небольшой ширины захвата (1,5 м) при рабочей скорости движения до 12 км/ч. При этом активный привод от вала отбора мощности трактора обуславливает повышенные энергозатраты. В данном случае выгоднее использовать орудия с пассивными рабочими органами, которые позволяют на более высоких скоростях (до 20—25 км/ч) уложить и измельчить растения-сидераты на поверхности почвы, а при необходимости заделывать их в поверхностный слой.

Таким образом, для повышения производительности и качества выполнения технологического процесса заделки сидератов в поверхностный слой почвы необходимо использовать многофункциональные орудия (для традиционного способа заделки), способные за один проход выполнять несколько технологических операций — рыхление почвы, подрезание растений, их измельчение и заделку в поверхностный слой, либо использовать высокоскоростные орудия для прикапывания и измельчения пожнивных остатков и сидератов на поверхности почвы для создания мульчирующего слоя.

## Цель исследования

Цель исследования — разработка орудий для заделки пожнивных остатков и сидератов в поверхностный слой почвы, обеспечивающих повышение производительности и соответствующее качество технологического процесса.

## Материалы и методы

При проведении исследований использовались теоретические и экспериментальные методы, основанные на применении основных положений земледельческой механики, теории с.-х. машин и методов измерений, регламентируемых нормативной документацией.

## Результаты и их обсуждение

В результате анализа существующих схем орудий и теоретических исследований, проведенных в Костанайском филиале ТОО "КазНИИМЭСХ", с учетом разных технологий и способов заделки сидератов и пожнивных остатков обоснованы конструктивно-технологические схемы двух орудий (рис. 1, 2). Их применение обеспечивает измельчение растений и формирование мульчи на поверхности почвы, а также качественное измельчение и заделку растений в поверхностный слой для традиционной технологии заделки сидератов.

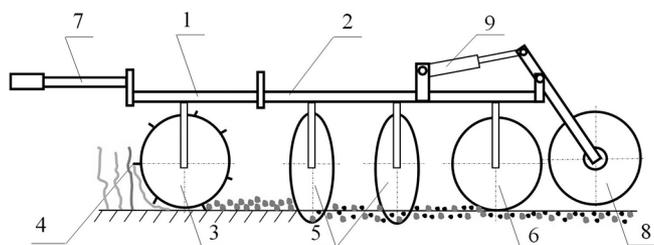


Рис. 1. Схема орудия с комбинацией рабочих органов:

1, 2 — полурамы; 3 — прикатывающий каток; 4 — режущие элементы; 5 — дисковые рабочие органы; 6 — задний прикатывающий каток; 7 — прицепное устройство; 8 — транспортные колеса; 9 — гидроцилиндр

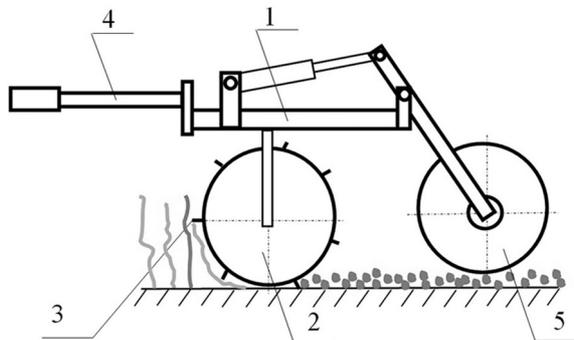


Рис. 2. Схема орудия для прикатывания и измельчения пожнивных остатков и сидератов на поверхности почвы с целью создания мульчирующего слоя:

1 — рама; 2 — прикатывающий каток; 3 — режущие элементы; 4 — прицепное устройство; 5 — транспортные колеса

На рис. 1 представлена схема орудия с комбинацией рабочих органов, использование которого позволяет за один проход агрегата прикатать и измельчить растения на поверхности почвы передним прикатывающим катком с режущими элементами, затем измельченную массу заделать дисковыми рабочими органами в поверхностный слой с его последующим выравниванием задним прикатывающим катком.

На рис. 2 дана схема орудия с одним прикатывающим катком и установленными на нем режущими элементами. Это орудие прикатывает и измельчает растения на поверхности почвы для создания мульчирующего слоя. Схема, представленная на рис. 2, может быть составной частью схемы на рис. 1, т.е. при необходимости передний прикатывающий каток с режущими элементами может использоваться отдельно для формирования мульчирующего слоя на поверхности поля в системе органического земледелия.

Для обеих схем необходимо прежде всего обосновать параметры переднего прикатывающего катка с режущими элементами. Для заделки измельченных растений можно традиционно использовать сферические вырезные элементы диаметром 560—660 мм с углом атаки 20°, которые широко применяются в конструкциях различных дискаторов для заделки пожнивных остатков в поверхностный слой почвы.

Степень измельчения растений — один из основных критериев качества выполнения технологического про-

цесса измельчения и последующей заделки сидератов, который учитывался при обосновании обеих схем орудий. Принимались во внимание требования к условиям проведения последующих операций после заделки сидератов — безотвальной осенней обработки почвы, предпосевной культивации либо прямого посева. Согласно существующим требованиям [11], на поверхности поля допускается наличие растительных остатков длиной не более 25—30 см для безотвальной обработки и предпосевной культивации, для прямого посева допускается наличие мульчирующего слоя. С учетом того, что традиционная ширина междурядья при посеве стерневыми сеялками составляет 22,8 см, была принята длина резания не более 20 см (не менее 60 % измельченных фракций до 20 см), при которой измельченные растения не препятствуют прохождению сошников сеялок и не забивают рабочие органы для поверхностной обработки почвы.

При обосновании параметров катка учитывалось то, что уложенные на поверхности поля растения имеют мягкую структуру и легко сдавливаются. Перекатываясь по поверхности поля, каток неминуемо испытывает сопротивление со стороны почвы и растительной массы. Чем тяжелее каток и меньше его диаметр, тем больше вероятность того, что перед ним начнет образовываться валик из почвы и растений.

Основные параметры, которые необходимо обосновать (рис. 3): диаметр катка  $D$ , высота режущего элемента  $b$ , количество режущих элементов  $n$ .

Связь между диаметром катка  $D$ , его шириной захвата  $b_1$ , вертикальной нагрузкой на каток  $Q$  и тяговым сопротивлением  $P_1$  его перекачивания устанавливается формулой Грандвуане—Горячкина [12]:

$$D \geq \frac{Q^2}{\sqrt{q b_1 P_1^3}}, \quad (1)$$

где  $q$  — коэффициент объемного сопротивления почвы, Н/см<sup>3</sup>.

У катков подобного типа удельная вертикальная нагрузка  $Q$  составляет не менее 10 000 Н на 1 м ширины

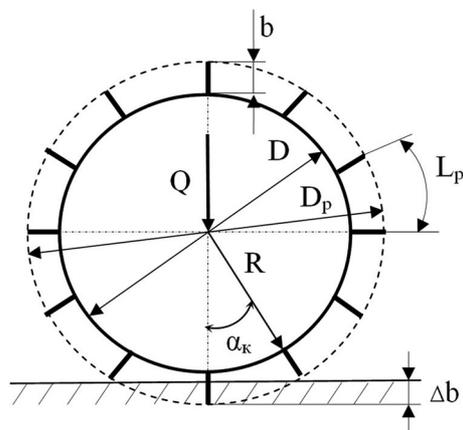


Рис. 3. Схема для определения рабочего диаметра катка и количества режущих элементов

захвата. При такой вертикальной нагрузке  $Q$  в соответствии с формулой (1) диаметр катка должен составлять не менее 530 мм. Однако это диаметр катка без учета параметров режущих элементов (их высоты  $b$  и количества  $n$ ).

Количество режущих элементов  $n$  зависит от заданной длины резания  $L_p$  и рабочего диаметра катка  $D_p$  (см. рис. 3).

Если каток имеет  $n$  режущих элементов, то для выполнения агротехнических требований при радиусе катка  $R = D/2 + b$  должно выполняться условие:

$$2\pi\left(\frac{D}{2} + b\right)/n \leq L_p. \quad (2)$$

Режущий элемент вдавливаются в почву на  $\Delta b$  (см. рис. 3). С учетом того, что резание должно производиться режущим элементом в нижней точке, вес катка не должен переноситься на соседние режущие элементы, а угол контакта  $\alpha_k = 2\pi/n$ , получено равенство:

$$\cos\left(L_p/\left(\frac{D}{2} + b\right)\right) = 1 - \Delta b/\left(\frac{D}{2} + b\right). \quad (3)$$

Если принять величину входа (вдавливания) режущего элемента в почву  $\Delta b$  не более 55 мм (по данным предварительных замеров), а длину резания  $L_p$  не более 200 мм, решением равенства (3) будут значения  $(D/2 + b)$  не менее 365 мм. Таким образом, рабочий диаметр  $D_p$  с учетом высоты режущего элемента должен быть не менее 730 мм.

Поскольку диаметр  $D$  катка без учета высоты режущего элемента в соответствии с выражением (1) должен быть не менее 530 мм, а рабочий диаметр  $D_p$  не менее 730 мм, то высота режущего элемента  $b$  должна быть не менее 100 мм. С учетом этого из выражения (2) следует, что при длине резания до 200 мм на катке должно быть установлено не менее 12–14 режущих элементов.

Для проверки влияния обоснованных параметров прикатывающего катка с режущими элементами на качество выполнения технологического процесса укладки и измельчения растительной массы на поверхности почвы проведены экспериментальные исследования. На лабораторной установке изменялись: удельная вертикальная нагрузка  $Q$  в диапазоне от 8000 до 12 000 Н на 1 м ширины захвата; высота режущих элементов  $b$  от 80 до 120 мм; рабочая скорость движения агрегата от 8 до 25 км/ч. При этом на катке были установлены 14 режущих элементов.

Критерием качества выполнения технологического процесса служила степень измельчения растений. Выявлено, что прикатывающий каток с установленными на нем режущими элементами качественно выполняет прикатывание и измельчение растительной массы на поверхности почвы при удельной вертикальной нагрузке 8000 Н на 1 м ширины захвата и высоте режущего элемента не менее 100 мм. При этом рабочая скорость может достигать 25 км/ч, что дает резерв увеличения производительности при укладке и измельчении сидератов на поверхности почвы для создания мульчирующего слоя.

## Выводы

Применение предложенных орудий для заделки сидератов в поверхностный слой обеспечивает качественное измельчение растений и формирование мульчи на поверхности почвы, а также измельчение и заделку сидератов и пожнивных остатков в поверхностный слой в технологии органического земледелия.

Использование таких катков-измельчителей возможно не только при заделке сидератов, но и для укладки и измельчения стерневых кулис (с целью исключения забивания рабочих органов с.-х. орудий при последующих обработках), измельчения на поверхности почвы высокостебельной растительности перед обработкой залежных полей и т.д.

## Литература и источники

1. Липкович Э. И., Бельтюков Л. П., Бондаренко А. М. Органическая система земледелия // Техника и оборудование для села. 2014, № 8. С. 2–7.
2. Воропаев С. Н., Попов П. А., Ермохин В. Д. и др. Биологическая система земледелия. М.: Колос, 2009. 192 с.
3. Овсинский И. Е. Новая система земледелия. Новосибирск: Агро-Сибирь, 2004. 86 с.
4. Гиляров М. С., Кривоуцкий Д. А. Жизнь в почве. М.: Молодая гвардия, 1985. 191 с.
5. Тюрюканов А. Н. О чем говорят и молчат почвы. М.: Агропромиздат, 1990. 223 с.
6. Бондаренко А. М., Качанов Л. С. Перспективные ресурсосберегающие технологии производства и использования высококачественных органических удобрений // Дулатовские чтения 2013 года: Мат-лы V Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. Костанай, 2013. С. 251–256.
7. Асс Дж. К., Бек Д., Блека М. Л. и др. Управление использованием пожнивных остатков с целью уменьшения эрозии и улучшения качества почвы. Вашингтон: Министерство сельского хозяйства США, Служба исследований сельского хозяйства, 1994. 84 с.
8. Лошаков В. Г., Николаев В. А. Влияние длительного применения пожнивного зеленого удобрения на агрофизические свойства почвы // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 1999, № 2. С. 29–40.
9. Лошаков В. Г. Пожнивная сидерация и плодородие дерново-подзолистых почв // Земледелие. 2007, № 1. С. 11–14.
10. Казаков В. Е. Земледелие Северного Казахстана и Западной Сибири. М.: Колос, 1967. 375 с.
11. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. М.: Росинформагротех, 2005. 270 с.
12. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 2 т. / Под ред. А. В. Красниченко. Т. 1. М.: Машгиз, 1960. 656 с.

## References

1. Lipkovich E. I., Bel'tyukov L. P., Bondarenko A. M. Organic farming system. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2014, no. 8, pp. 2–7 (in Russ.).
2. Voropaev S. N., Popov P. A., Ermokhin V. D., Mal'min N. G. *Biologicheskaya sistema zemledeliya* [Biological farming system]. Moscow, Kolos Publ., 2009, 192 p.
3. Ovsinskiy I. E. *Novaya sistema zemledeliya* [The new farming system]. Novosibirsk, Agro-Sibir' Publ., 2004, 86 p.
4. Gilyarov M. S., Krivolutskiy D. A. *Zhizn' v pochve* [Life in soil]. Moscow, Molodaya gvardiya Publ., 1985, 191 p.

Окончание статьи В. Л. Астафьева и др. Начало см. на стр. 3

5. Tyuryukanov A. N. *O chem govoryat i molchat pochvy* [What do soils tell and what they keep silent about]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990, 223 p.
6. Bondarenko A. M., Kachanov L. S. Prospective resource-saving technologies of production and use of high-quality organic fertilizers. *Dulatovskie chteniya 2013 goda. Mat-ly V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Dulatov's readings 2013. Proc. of the 5th int. sci. and pract. conf.]. Kostanay, 2013, vol. 2, pp. 251–256 (in Russ.).
7. Ass J. K., Bek D., Bleka M. L., Bikerer J. *Upravlenie ispol'zovaniem pozhnivnykh ostatkov s tsel'yu umen'sheniya erozii i uluchsheniya kachestva pochvy* [Management of using stubble remains to decrease soil erosion and increase soil quality]. Washington DC, United States Department of Agriculture, Agricultural investigating service, 1994, 84 p. (in Russ.).
8. Loshakov V. G., Nikolaev V. A. Effect of long-term use of stubble green manure on agrophysical properties of the soil. *Doklady Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 1999, no. 2, pp. 29–40 (in Russ.).
9. Loshakov V. G. Stubble green manure and fertility of sod-podzol soils. *Zemledelie*, 2007, no. 1, pp. 11–14 (in Russ.).
10. Kazakov V. E. *Zemledelie Severnogo Kazakhstana i Zapadnoy Sibiri* [Farming in Northern Kazakhstan and Western Siberia]. Moscow, Kolos Publ., 1967, 375 p.
11. *Iskhodnye trebovaniya na bazovye mashinnye tekhnologicheskie operatsii v rastenievodstve* [Initial requirements for basic machine process operations in crop production]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2005, 270 p. (in Russ.).
12. *Spravochnik konstruktora sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Handbook for design engineer of agricultural machines]. Under the editorship of A. V. Krasnichenko. Vol. 1. Moscow, Mashgiz Publ., 1960, 656 p.