

## Ослабление воздействия уплотненного почвенного ядра

### Mitigation of effect of compacted soil lump

С. А. СИДОРОВ, д-р техн. наук  
В. К. ХОРОШЕНКОВ, канд. техн. наук  
Д. А. МИРОНОВ, инж.  
Е. С. ЛУЖНОВА, инж.

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Москва, Россия, vim-avt@rambler.ru

S. A. SIDOROV, DSc in Engineering  
V. K. KHOROSHENKOV, PhD in Engineering  
D. A. MIRONOV, Engineer  
E. S. LUZHNOVA, Engineer

All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization, Moscow, Russia, vim-avt@rambler.ru

Показано влияние уплотненного почвенного ядра, которое образуется на лезвии и перед ним, на характеристики работоспособности и ресурса почворежущих рабочих органов. Приведены факты, доказывающие наличие уплотненного почвенного ядра на лезвии в процессе резания почвенного пласта. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, позволяющие получить расчетные параметры и повысить технический уровень рабочих органов, применяемых при обработке и резании почвы. Обоснованы и перечислены негативные факторы, влияющие на работоспособность деталей почвообрабатывающей техники в условиях воздействия уплотненного почвенного ядра. Отмечена циклическая природа его образования на лезвии, режущем почвенный слой. Представлена гипотетическая схема воздействия почвенного ядра на лезвие рабочего органа при различной величине затупления, объясняющая физический смысл негативных явлений, связанных с ухудшением энергетических и агротехнических показателей деталей и орудий при эксплуатационном изнашивании в условиях выраженного уплотненного почвенного ядра (на относительно твердых почвах). Определены фундаментальные причины резкого роста сопротивления почвы при наличии затылочной фаски на лезвии режущего рабочего органа, что связано с перемещением уплотненного почвенного ядра под лезвие. Приведены закономерности, определяющие значения действующих на лезвие удельных нагрузок. Отмечены различия в изменении общих и удельных нагрузок на рабочий орган при возникновении уплотненного почвенного ядра. Обоснованы особая роль задней грани лезвия рабочего органа, связанная с тяжелыми условиями разгрузки почвенного пласта под ней, и необходимость ее защиты. Описаны практические конструкционные и технологические способы защиты деталей от воздействия уплотненного почвенного ядра. Приведены обоснованные значения параметров рабочих органов сельскохозяйственных машин, взаимодействующих с почвой, которые обеспечат повышение их эксплуатационных, агротехнических и ресурсных характеристик.

**Ключевые слова:** уплотненное почвенное ядро; почворежущее лезвие; рабочий орган; угол резания; экспериментальные данные; ресурс; толщина лезвия.

The article shows the effect of compacted soil lump which forms on the blade and in front of it on the characteristics of performance and lifetime of soil cutting working organs. Facts proving the presence of compacted soil lump on the blade in process of cutting soil layer are given. The results of theoretical and experimental researches are brought, allowing to obtain the design parameters and to improve the technical level of working organs used in soil cultivating and cutting. Negative factors that affect the efficiency of parts of tillage equipment in the conditions of compacted soil lump effect are substantiated and listed. The cyclical nature of its formation on the blade cutting the soil layer is noted. The article presents a hypothetical scheme of soil lump effect on the blade of working organ with different degrees of bluntness. This scheme explains the physical meaning of negative effects that are associated with deterioration of energy and agronomic indicators of parts and equipment during the operating wear in conditions of clear-cut compacted soil lump (on relatively strong soils). The article determines the fundamental reasons for the sharp increase in resistance of soil in the presence of chamfered edge on the blade of cutting working organ, which is associated with movement of compacted soil lump under the blade. Regularities defining the values of specific loads acting on the blade are given. The differences in variation of total and specific loads on working organ under formation of compacted soil lump are noted. The article substantiates a special role of the rear face of the blade of working organ in connection with heavy conditions of loading of soil layer under it. It describes the practical design and technological methods of protection of parts against the effects of compacted soil lump. Substantiated values of the parameters of working organs of agricultural machines interacting with soil are given, that provide the increase in their operational, agronomic and life characteristics.

**Keywords:** compacted soil lump; soil cutting blade; working organ; cutting angle; experimental data; lifetime; thickness of blade.

#### Введение

Изучение процесса обработки и резания почвы рабочими органами — одно из ведущих направлений земледельческой механики, которое имеет важнейшее прикладное значение. Исследования условий резания почвы и соответствующие мероприятия, основанные на их результатах, позволяют в значительной степени повысить эффективность и оптимизировать себестоимость проведения наиболее затратных в общем технологическом цикле производства продукции растениеводства операций почвообработки, посева, уборки картофеля и некоторых овощей.

Один из важнейших факторов, влияющих на условия резания почвы, — образование уплотненного почвенно-

го ядра на лезвийных частях рабочих органов в процессе эксплуатации.

К сожалению, 10—30 лет назад этот фактор мало учитывался в исследованиях по теории резания почв и даже подвергался сомнению. Однако еще в предшествующие годы наличие уплотненного почвенного ядра на лезвиях рабочих органов почвообрабатывающих и дорожных машин отмечали многие исследователи. Впервые оно упоминается в трудах немецких ученых Е. Динглидера и У. Ратге, которые в опытах по протаскиванию лезвий в песке определили, что перед лезвием образуется "тело повышенного давления из песка, которое разделяет окружающие частицы". А. Н. Зеленин, А. Д. Далин, И. Я. Айзеншток [1] также изучали процессы образования перед лезвием "уплотненного ядра из грунта".

В более современных исследованиях [2–4] на основе преимущественно косвенных оценок установлены факторы и тенденции, наличие которых может быть объяснено только образованием на почворезущем лезвии и перед ним уплотненного почвенного ядра.

Таким образом, образование уплотненного ядра в процессе резания почвы можно считать доказанным фактом. Возникает вопрос, в какой мере этот факт может быть учтен при проектировании и модернизации почворезущих машин и их рабочих органов.

### Цель исследования

Цель исследования — выявить влияние уплотненного почвенного ядра на рабочие органы почвообрабатывающих машин и на основе выявленных закономерностей повысить ресурс работы агрегата, а также качественные показатели выполнения технологических процессов.

### Материалы и методы

На основе аналитических и экспериментальных исследований взаимодействия рабочих органов с почвой предусмотрены факторы, позволяющие улучшить качество обработки почвы и увеличить ресурс рабочих органов в 1,5–2 раза.

### Результаты и их обсуждение

На рисунке приведена гипотетическая схема воздействия уплотненного почвенного ядра при различных параметрах затупления лезвия [2], научно объясняющая известное негативное явление — резкий (не пропорциональный затуплению) рост сопротивления почвенного пласта при отрицательном угле резания, возникающем в процессе изнашивания лезвия или образования затылочной фаски.

Фундаментальная причина резкого роста сопротивления почвы при возникновении затылочной фаски — различие в условиях прохождения почвенного пласта по передней и задней граням лезвия [1]. В частности, такой рост объясняется тем, что на задней грани лезвия, куда при изнашивании и возникновении затылочной фаски (см. рис. *в*) перемещается уплотненное ядро, увеличивающееся вследствие роста угла заострения лезвия, усло-

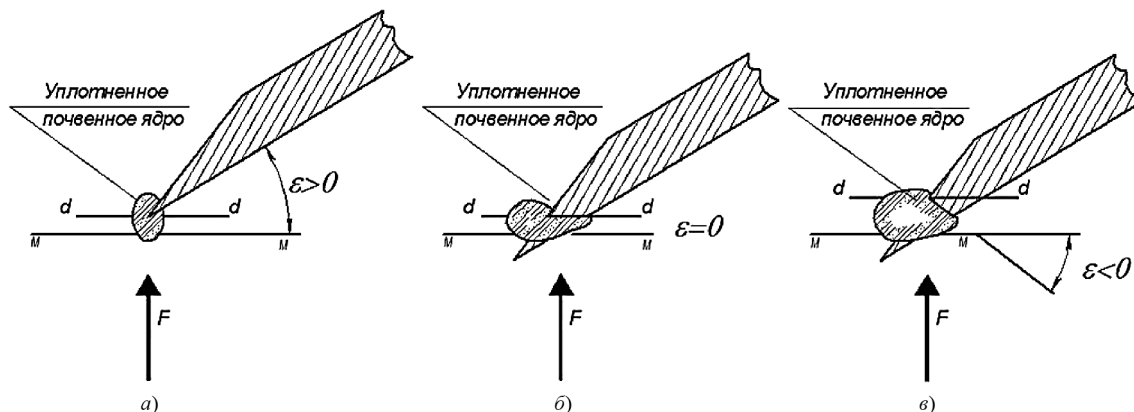
вия разгрузки почвенного пласта существенно тяжелее в сравнении с аналогичным процессом на передней грани [1].

Одна из главных выявленных закономерностей наличия уплотненного почвенного ядра на лезвии — не очевидное на первый взгляд свойство ядра стабилизировать именно удельные нагрузки, действующие на лезвие, и обеспечивать относительную независимость их значений от геометрии (или параметров затупления) лезвия. Действующие на лезвие удельные нагрузки, в частности используемые при расчете износов [2, 3], относительно постоянны и зависят лишь от режимов работы орудия, почвенных условий (преимущественно от твердости) и установочных параметров. Обычно они находятся в пределах от 0,1 до 0,8 МПа [2] для различных деталей и условий.

Общие нагрузки, действующие на затупленное лезвие и орудие в целом, возрастают пропорционально росту размеров почвенного ядра (см. рис. *в*). Специфическое свойство ядра, которое заключается в перераспределении и относительной стабилизации нагрузок на внутренней поверхности, вероятно, объясняется особенностью воздействия почвенных сил трения и сцепления и определенными условиями сжимаемости ядра.

Другая научно-практическая закономерность — циклическая (с определенной периодичностью) процедура образования уплотненного почвенного ядра на лезвии и схода с него, достаточно подробно описанная И. Я. Айзенштоком [1]. По данным [2], цикличность характеристик действующих на орудие нагрузок, хорошо известная многим специалистам, проводящим тензометрические исследования, объясняется не только неравномерностью свойств почвы, но и циклическим (как правило через строго определенные интервалы времени) характером образования уплотненного почвенного ядра на лезвии и схода с него.

В практическом плане для защиты от негативного воздействия уплотненного почвенного ядра можно рекомендовать проектирование рабочих органов и орудий с такими параметрами, которые не позволяли бы уплотненному ядру проникать под заднюю грань лезвия и по возможности сходиться с рабочего органа по передней грани лезвия. К таким параметрам относится неболь-



Гипотетическая схема воздействия уплотненного почвенного ядра на лезвие рабочего органа:

*a* — острое лезвие, задний угол резания  $\varepsilon > 0$ ; *б* — умеренно затупленное лезвие, задний угол резания  $\varepsilon = 0$ ; *в* — сильно затупленное лезвие, задний угол резания  $\varepsilon < 0$ ; *M* — *M* — линия дна борозды; *F* — реакция дна борозды; *d* — *d* — условная линия раздела ядра на верхнюю и нижнюю части

шой (не более 4—6°), но строго положительный задний угол резания  $\epsilon$ , или угол зазора (см. рисунок).

Также экспериментально получены данные о том, что работоспособность лезвия зависит не столько от его остроты, сколько от параметров, характеризующих возможность попадания ядра под заднюю грань. Для лезвий рабочих органов, не производящих напрямую перерезание сорных растений, при верно выбранном заднем угле резания собственно толщина лезвия не столь значительно (в пределах 8—13 %) влияет на работоспособность и энергетические характеристики рабочего органа. В ряде случаев применение лезвий увеличенной толщины (до 3—3,3 мм, например у лемехов плугов) [5, 6] может быть экономически обоснованным, так как величина линейного износа, согласно результатам исследований, обратно пропорциональна толщине лезвия, взятой в степени 0,5—0,6 (приблизительно квадратному корню из значения толщины лезвия) [7].

К числу других важных практических выводов, сделанных на основе анализа процессов воздействия уплотненного почвенного ядра, следует отнести необходимость защиты, например твердосплавной наплавкой или другим видом упрочнения, именно задней (наружной) грани лезвия. Также установлено, что для получения максимального эффекта повышения ресурса и работоспособности толщина упрочняющего слоя для большинства почворезущих деталей должна быть максимально возможной (2,8—3,3 мм) [6, 7].

## Заключение

Анализ условий образования уплотненного почвенного ядра на лезвии почворезущего рабочего органа и перед ним позволил установить следующее.

Воздействующие на грани лезвия удельные нагрузки, значения которых используются при расчетах износов, относительно постоянны и практически не зависят от геометрии лезвия или параметров его затупления в отличие от общих нагрузок, действующих на рабочий орган и орудие, которые резко увеличиваются при затуплении лезвия. Этот факт объясняется специфическими свойствами уплотненного почвенного ядра. Для конкретных изделий, почвенных и скоростных условий удельные нагрузки, действующие на лезвие, находятся в пределах 0,1—0,8 МПа.

Для устранения негативного влияния почвенного ядра и затруднения его попадания под заднюю грань лезвия рабочие органы следует изготавливать с небольшим (4—6°) строго положительным углом резания и внутренней заточкой [2, 5].

В сравнении с параметрами лезвия, определяющими условия воздействия уплотненного почвенного ядра на работоспособность и энергоёмкость рабочего органа, острота лезвия — менее значимый фактор.

Упрочнение лезвий почворезущих рабочих органов наиболее эффективно с задней (наружной) стороны. Толщина упрочняющего слоя для большинства рабочих органов, не производящих непосредственного подрезания сорных растений, должна быть максимальной (2,8—3,3 мм).

## Литература и источники

1. **Резание грунтов:** Сб. статей / Под ред. А. О. Спиваковского, А. Н. Зеленина. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1951. 158 с.
2. **Сидоров С. А.** Условия резания почвы с образующимся уплотненным ядром // *Техника в сельском хозяйстве*. 2008, № 5. С. 8—11.
3. **Измайлов А. Ю., Сидоров С. А., Лобачевский Я. П.** и др. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012, № 3. С. 5—7.
4. **Жук А. Ф.** Влияние почвенного нароста на работу клина // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013, № 3. С. 24—29.
5. **Сидоров С. А.** Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, применяемых в сельском и лесном хозяйстве: Дис. ... д-ра техн. наук. М., 2007. 441 с.
6. **Лискин И. В., Миронов Д. А., Сидоров С. А.** и др. Обоснование и разработка нового плужного лемеха конструкции ВИМ // *Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий:* Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. М.: ВИМ, 2014. С. 101—104.
7. **Лискин И. В., Миронов Д. А., Сидоров С. А.** Равновесие плуга в продольно-вертикальной плоскости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014, № 6. С. 41—46.

## References

1. *Rezanie gruntov* [Cutting of soils]. Under the editorship of A. O. Spivakovskiy, A. N. Zelenin. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1951, 158 p.
2. Sidorov S. A. Conditions of cutting soil with formation of compacted soil lump. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*, 2008, no. 5, pp. 8—11 (in Russ.).
3. Izmaylov A. Yu., Sidorov S. A., Lobachevskiy Ya. P., Khoroshenkov V. K., Kuznetsov P. A., Yurkov M. A., Golosienko S. A. Scientific principles of increasing the wear resistance of working bodies of tillage equipment. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2012, no. 3, pp. 5—7 (in Russ.).
4. Zhuk A. F. Influence of soil build-up on the operation of wedge. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2013, no. 3, pp. 24—29 (in Russ.).
5. Sidorov S. A. *Povyshenie dolgovechnosti i rabotosposobnosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin i orudiy, primenyayemykh v sel'skom i lesnom khozyaystvakh* [Increasing the durability and efficiency of working bodies of tillage machines and tools used in agriculture and forestry]. DSc in Engineering thesis. Moscow, 2007, 441 p.
6. Liskin I. V., Mironov D. A., Sidorov S. A., Potkin S. N., Eremin P. A. Substantiation and development of a new ploughshare designed by All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization. *Innovatsionnoe razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sb. nauch. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Innovative development of agroindustrial complex of Russia based on intelligent machine technology. Proc. of Int. sci. and eng. conf.]. Moscow, All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization, 2014, pp. 101—104 (in Russ.).
7. Liskin I. V., Mironov D. A., Sidorov S. A. Plough balance in the longitudinal vertical plane. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2014, no. 6, pp. 41—46 (in Russ.).