

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.41

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-243-1-85-90

С.В. Щитов, А.В. Бурмага, З.Ф. Кривуца,
Е.С. Поликутина, Р.О. Сурин
S.V. Shchitov, A.V. Burmaga, Z.F. Krivutsa,
E.S. Polikutina, R.O. Surin

ВЛИЯНИЕ ТРАКТОРА С ФРОНТАЛЬНЫМ ПРОКАЛЫВАТЕЛЕМ-ЩЕЛЕРЕЗОМ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

INFLUENCE OF TRACTOR WITH FRONTAL PUNCHING PARA-PLOUGH ON SOIL PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES

Ключевые слова: твёрдость, плотность, почва, глубина колеи, трактор, прокальватель-щелерез, щелевание.

В последнее время в технологии возделывания сельскохозяйственных культур нашло широкое применение безотвальной подготовки почвы к посевным работам. Это объясняется тем, что при данном способе подготовки почвы, что особенно важно, меньше нарушается ее структурный состав, так как не происходит переворачивание, сохраняются естественные свойства и биологическая активность, но при этом производится рыхление почвы. Наряду с положительными качествами данной технологии на почвах имеющих основание в виде тяжёлого суглинки, происходит ухудшение отвода избыточной влаги по глубине. Для устранения данного недостатка проводится такая операция, как щелевание почвы с целью повышения её водопроницаемости. В связи с этим нами в качестве объекта исследований был выбран прокальватель-щелерез, на который получен патент на изобретение. Основной особенностью является то, что его рабочий орган не рыхлит почвенный слой на глубине, а прокальвает с одновременным уплотнением стенок почвы. В процессе проведения исследований данный прокальватель-щелерез был установлен на полурамный колёсный трактор класса 5 (К-700А) в агрегате с БДМ-6х4п. Для сравнения был взят трактор К-700А в агрегате с БДМ-6х4п без установленного на него прокальвателя-щелереза. Проведенные исследования показали, что в результате установки на трактор предлагаемого прокальвателя-щелереза за счёт перераспределения нагрузки между мостами трактора произошло снижение плотности поч-

вы в пахотном горизонте 0,15 м на 7%, твёрдости – на 6,07% и глубины следа – на 10,4% по сравнению с серийным МТА.

Keywords: hardness, density, soil, rut depth, tractor, punching para-plough, soil slitting.

Recently, subsoil tillage has been widely used in the technology of seedbed preparation. This is explained by the fact that with this seedbed preparation technique, the soil structural composition is less disturbed since it is not overturned; the natural properties and biological activity are preserved, but soil loosening is made. Along with the positive features of this technique, the removal of excess moisture in deep layers worsens in the soils based on heavy loams. To eliminate this drawback, such an operation as soil slitting is performed in order to increase soil water permeability. In this regard, the research target was a punching para-plough which was patented as an invention. Its key feature is that its working body does not loosen the soil layer at a depth, but punches it with simultaneous compaction of the soil walls. This punching para-plough was installed on a class 5 (K-700A) semi-frame wheeled tractor aggregated with BDM-6×4p disc harrow. For comparison, we used a K-700A tractor with BDM-6×4p disc harrow without a punching para-plough installed. It was found that the installation of the proposed punching para-plough on the tractor due to the redistribution of the load between the tractor axles, there was a decrease of soil density in the arable horizon of 0.15 m by 7%, hardness decrease by 6.07% and rut depth decrease by 10.4% as compared to serial machine and tractor unit.

Шитов Сергей Васильевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: shitov.sv1955@mail.ru.

Бурмага Андрей Владимирович, д.т.н., доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: burmaga@mail.ru.

Кривуца Зоя Фёдоровна, д.т.н., доцент, зав. кафедрой, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: zfk20091@mail.ru.

Поликутина Елена Сергеевна, к.т.н., ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: e.polikytina@mail.ru.

Сури́н Роман Олегович, аспирант, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: roman_surin81.81@mail.ru.

Shchitov Sergey Vasilevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: shitov.sv1955@mail.ru.

Burmaga Andrey Vladimirovich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: burmaga@mail.ru.

Krivutsa Zoya Fedorovna, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: zfk20091@mail.ru.

Polikytina Elena Sergeevna, Cand. Tech. Sci., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: e.polikytina@mail.ru.

Surin Roman Olegovich, post-graduate student, Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: roman_surin81.81@mail.ru.

Введение

Щелевание почвы является одной из операций в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, которая предусматривает улучшение водопроницаемости почвенного горизонта. Эта операция особенно важна, когда осуществляется безотвальная подготовка почвы к посевным работам. Использование данного способа обработки почвы позволяет:

- уменьшить вероятность возникновения эрозии почвы;
- сохранить коэффициент структурности почвы, так как отсутствует оборот пласта;
- улучшить воздухопроницаемость;
- повысить содержание гумуса в верхнем плодородном слое почвы;
- снизить вероятность образования заболоченных мест;
- улучшить насыщение плодородного слоя почвы кислородом.

В то же время при использовании безотвальной подготовки почвы под посев на почвах с твердым подстилающим слоем в виде тяжёлого суглинка ухудшается водопроницаемость избыточной влаги по глубине. Как было сказано выше, устранить этот недостаток позволяет щелевание почвы, которое выполняется с использованием специально выпускаемых заводами щелевателями.

Конечная цель любого сельскохозяйственного предприятия, занимающегося выращиванием сельскохозяйственных культур, является снижение энергозатрат [1-5]. На практике снижение энергозатрат обеспечивается за счёт использования многооперационных машин, позволяющих за один проход выполнить ряд операций. В то

же время для таких операций требуются энергонасыщенные тракторы, развивающие значительные тяговые усилия на крюке. Щелевание почвы предусматривает отдельную операцию, не совмещаемую с другими. Как правило, для этих целей чаще всего используются колёсные тракторы с шарнирно-сочлененной рамой, у которых основной сцепной вес приходится на передние колеса, что в конечном итоге отрицательно сказывается на физико-механических свойствах почвы (плотность, твердость, глубина колеи, структурность и т.д.). При проведении щелевания почвы происходит её разрыхление, а наличие избыточной влаги и разрыхленного слоя приводит к быстрому затягиванию проделанных щелей. Как выход из такой ситуации – использование прокальвателя-щелереза, который предусматривает уплотнение стенок за счёт использования лучеобразного рабочего органа, который прокальвает слой почвы [6]. Кроме этого конструкция данного прокальвателя-щелереза предусматривает установку его перед трактором и передачу на него часть нагрузки, приходившейся на трактор, посредством дополнительно установленного гидроцилиндра. При этом происходит ещё и частичное перераспределение нагрузки между мостами трактора. Так как работа данного устройства основана на перекачивании рабочего органа, то энергоёмкость его небольшая по сравнению с существующими, и его можно совмещать с другими операциями. В частности, нами предлагается его использовать в составе МТА (машинно-тракторного агрегата), состоящего из трактора класса 5 и БДМ-6х4п.

При проведении исследований поставлена цель – снизить отрицательное воздействие на

почву движителей машинно-тракторного агрегата при подготовке почвы под посев.

При этом поставлены **задачи** исследований:

- провести экспериментальные исследования по определению эффективности использования прокальвателя-щелереза;
- провести проверку работоспособности МТА, состоящего из трактора К-700А с установленным прокальвателем-щелерезом и БДМ-6х4п.

Объекты и методы исследования

При проведении исследований в качестве объекта выбран процесс подготовки почвы МТА, состоящим из трактора К-700А и БДМ-6х4п с установленным прокальвателем-щелерезом (рис. 1, 2).



Рис. 1. Общий вид МТА (К-700А+ БДМ-6х4п + прокальватель-щелерез)

При проведении исследований замерялись следующие параметры:

- нагрузка, приходящаяся на мосты трактора;
- влажность почвы;
- твёрдость почвы;
- глубина колеи;
- глубина прокальвания почвы.

Для измерения вышеперечисленных параметров использовались следующие приборы: весы МВСК (В) с пределом взвешивания 10 т, цилиндр-бур, цифровой измеритель твердости почвы ТУД-2, цифровой влагомер «PMS-710», измерительная линейка. При проведении экспериментальных исследований в качестве объекта для сравнения брался серийный МТА без установленного прокальвателя-щелереза. Учитывались требования ГОСТ 26955-86. «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву» [7].

Предлагаемый прокальватель-щелерез работает следующим образом. Оператор при помощи гидрораспределителя направляет масло под давлением в дополнительно установленный гидроцилиндр, который воздействует на раму с установленными лучеобразными рабочими органами. В результате за счёт создаваемой гидроцилиндром нагрузки рабочие органы прокальвают почву по глубине.

Как показали проведенные исследования при работе прокальвателя-щелереза, произошло перераспределения нагрузки между мостами трактора К-00А:

- на передний мост трактора снижение нагрузки составило от 67,3 до 60,5 кН;
- на задний мост трактора повышение нагрузки составило от 33,1 до 38,6 кН.



Рис. 2. Прокальватель-щелерез

Перераспределение нагрузки между мостами трактора в зависимости от длины выхода штока гидроцилиндра (создаваемая нагрузка) можно описать уравнениями регрессии:

– для передней оси трактора

$$y = -110,65x^2 + 59,458x + 68,197, \quad (1)$$

коэффициент достоверности аппроксимации составил 0,96, что свидетельствует об адекватности предлагаемой математической модели исходным данным;

– для задней оси трактора

$$y = 80,444x^2 - 44,474x + 33,405, \quad (2)$$

коэффициент достоверности аппроксимации составил 0,97, указывая на соответствие предлагаемой математической модели исходным данным;

– для предлагаемого устройства

$$y = 141,54x^2 - 70,212x - 0,0013, \quad (3)$$

коэффициент достоверности аппроксимации составил 0,95, что свидетельствует об адекватности предлагаемой математической модели исходным данным.

На основании проведенных исследований установлено, что в результате работы устройства изменилась нагрузка, приходящаяся на мосты трактора, что оказывает влияние на изменение физико-механических свойств почвы после прохода по ней МТА.

Результаты и обсуждение

На основании проведенных производственных испытаний получены данные по распределению влажности почвы по глубине (табл.).

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о неравномерности распределения влаги по глубине плодородного слоя. При этом наиболее влажный слой параметрами от 26,1% наблюдается уже на глубине в 0,25 м. Это объясняется наличием твердого подстилающего слоя в виде тяжелого суглинка, что требует проведения щелевание почвы. Как было отмечено выше, в связи с установкой прокальвателя-

щелереза произошло изменение нагрузки между мостами трактора, поэтому представляет определенный интерес, как данное перераспределение нагрузки скажется на физико-механические свойства почвы.

Таблица

Результаты экспериментальных данных по определению влажности почвы в зависимости от глубины

Глубина измерения влажности почвы, м	Влажность почвы, %
0,05	10,3-10,7
0,10	12,0-14,5
0,15	15,2-18,7
0,20	19,1-25,0
0,25	26,1-34,2
0,30	35,9-39,0
0,35	37,2-40,5
0,40	39,1-42,7
0,45	40,4-44,1

В результате воздействия ходовой системы МТА с установленным прокальвателем-щелерезом произошло изменение физико-механических свойств почвы:

- плотности;
- твердости;
- глубина колеи.

Анализ данных, приведенных на рисунке 3, показал, что плотность почвы в пахотном горизонте 0,15 м у экспериментального трактора ниже, чем у серийного на 7%.

Полученные экспериментальные данные показали, что твердость почвы после прохода экспериментального МТА уменьшилась на 6,07% по сравнению с серийным МТА (рис. 4).

В результате проведенных исследований установлено, что использование предлагаемого устройства позволило снизить глубину колеи по сравнению с серийным (рис. 5).

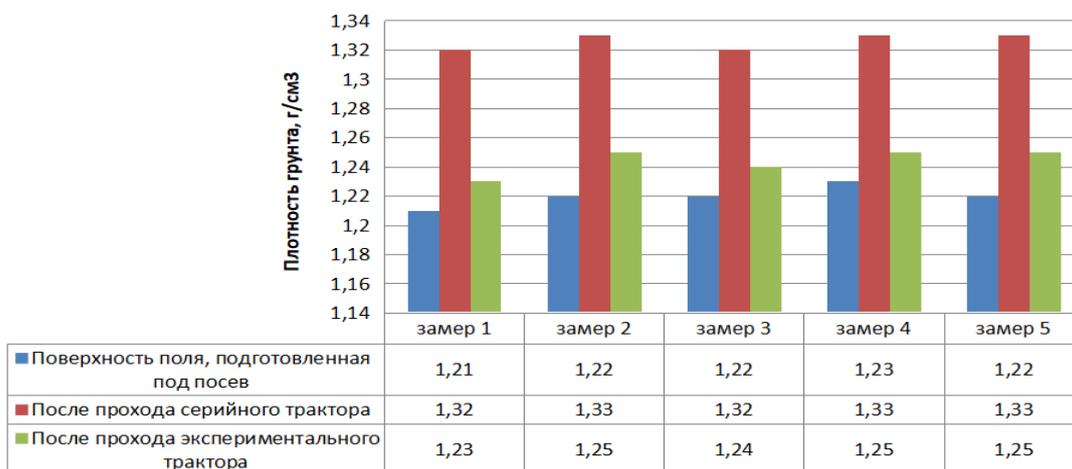


Рис. 3. Результаты экспериментальных данных по определению плотности почвы

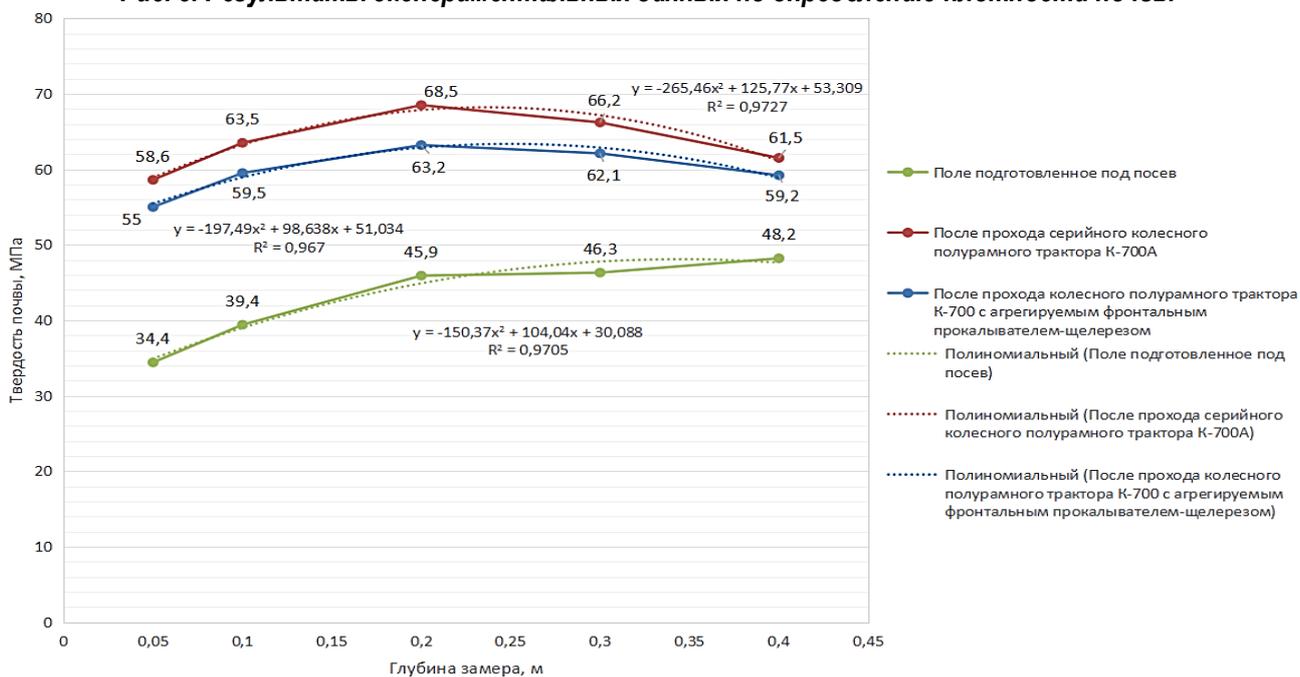


Рис. 4. Результаты экспериментальных данных по определению твёрдости почвы

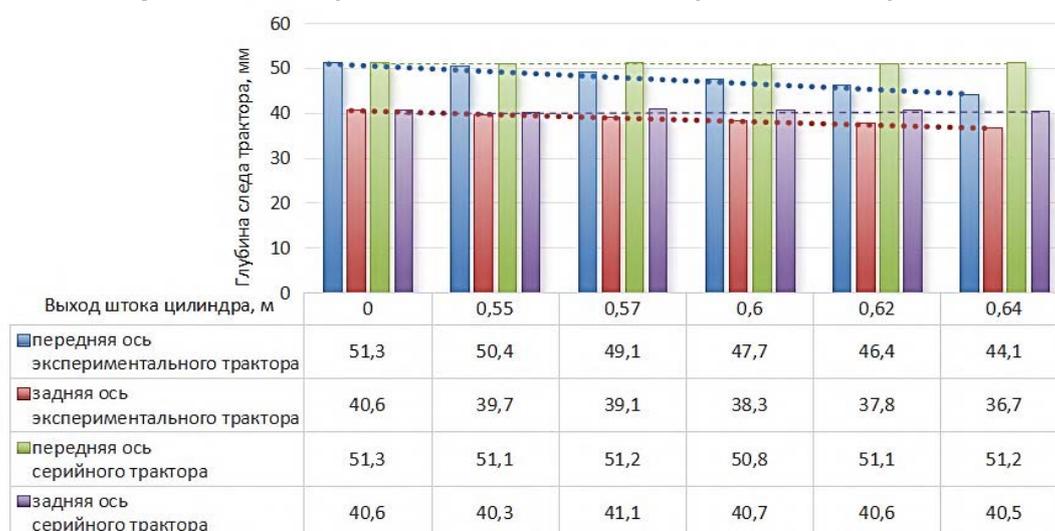


Рис. 5. Зависимость глубины колеи от длины выхода штока гидроцилиндра

Выводы

Проведённые производственные испытания показали, что предлагаемый прокальватель-щелерез можно использовать в агрегате с трактором К-700А и БДМ-6х4п, так как это позволяет:

- провести подготовку почвы под посевные работы с одновременным щелеванием на глубину до 0,45 м;
- снизить уплотнение и твердость почвы после прохода МТА по полю, соответственно, на 7 и 6,07%;
- уменьшить глубину колеи после прохода задних колёс на 10,3%.

Библиографический список

1. Беляев, В. И. Перспективные агротехнологии производства зерна в Алтайском крае / В. И. Беляев, Л. В. Соколова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (162). – С. 5-12.
2. Русанов, В. А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В. А. Русанов. – Москва: ВИМ, 1998. – 368 с. – Текст: непосредственный.
3. Щитов, С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: монография / С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов. – Благовещенск: ДальГАУ, 2017. – 272 с. – Текст: непосредственный.
4. Surin, R., Marshanin, E., Shchitov, S., et al. (2023). Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones. *E3S Web of Conferences*. 431. 01002. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343101002>.
5. Алдошин, Н. В. Выбор стратегий качественного выполнения механизированных работ / Н. В. Алдошин, Р. Н. Дидманидзе. – Текст: непосредственный // Международный технико-экономический журнал. – 2013. – № 5. – С. 67
6. Патент № 2754595, Рос. Федерация, МКИ В 60 В 11/02. Пунктирный прокальватель-щелерез / Сурин Р.О. [и др.]; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение выс-

шего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет». – № 2020132907; заявл. 06.10.2020; опубл. 03.09.2021, Бюл. № 25. – Текст: непосредственный.

7. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. – Москва; Изд-во стандартов, 1986. – 18 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Belyaev, V.I. Perspektivnye agrotekhnologii proizvodstva zerna v Altayskom krae / V.I. Belyaev, L.V. Sokolova // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. No. 4 (162). S. 5-12.
2. Rusanov V.A. Problema pereuplotneniya pochv dvizhitelyami i effektivnye puti ee resheniya. Moskva: VIM, 1998. 368 s.
3. Shchitov S.V., Kuznetsov E.E. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya mobilnykh energeticheskikh sredstv v tekhnologii vozdeleyvaniya selskokhozyaystvennykh kultur: monografiya. Blagoveshchensk: DalGAU, 2017. 272 s.
4. Surin, R., Marshanin, E., Shchitov, S., et al. (2023). Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones. *E3S Web of Conferences*. 431. 01002. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343101002>.
5. Aldoshin, N.V. Vybor strategiy kachestvennogo vypolneniya mekhanizirovannykh rabot / N.V. Aldoshin, R.N. Didmanidze // Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskiy zhurnal. 2013. No. 5. S. 67.
6. Punktirnyy prokalyvatel-shchelerez, patent na izobretenie No. 2754595, Ros. Federatsiya, MKI V 60 V 11/02, Surin R.O. i dr., zayavitel i patentoobladatel. FGBOU VO Dalnevostochnyy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, zayavka No. 2020132907 ot 06.10.2020. Opublikovano 03.09.2021. Byul. No. 25.
7. GOST 26955-86. Tekhnika selskokhozyaystvennaya mobilnaya. Normy vozdeystviya dvizhiteley na pochvu. Moskva: Izd-vo standartov, 1986. 18 s.

