

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 80–89  
Vestnik Kurganskoj GSNA. 2024; (4-52): 80–89

### Научная статья

УДК 631.372

Код ВАК 4.3.1

EDN:YGBDJM

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Сергей Васильевич Щитов<sup>1</sup>, Зоя Федоровна Кривуца<sup>2</sup>✉, Елена Сергеевна Поликутина<sup>3</sup>,  
Андрей Владимирович Бурмага<sup>4</sup>, Роман Олегович Сурин<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

<sup>1</sup> shitov.sv1955@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2409-450X>

<sup>2</sup> zfk20091@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-5345-1732>

<sup>3</sup> e.polikytina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1421-3321>

<sup>4</sup> burmaga@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2169-658X>

<sup>5</sup> roman\_surin81.81@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-7667-551X>

**Аннотация.** Цель исследований – определение эффективности процесса подготовки почвы с учётом региональных особенностей Амурской области. Проведение сельскохозяйственных работ, таких как уборка, подготовка почвы и посев, во многом зависит от региональных особенностей Амурской области. В исследуемом регионе основные посевные площади отведены под сою, объём производства которой в РФ составляет свыше 40 % [1]. Поздние сроки уборки (с наступлением отрицательных температур) не позволяют подготовить почву к проведению весенних посевных работ. Температура воздуха в зимний период времени достигает -40...-45°C, что вызывает промерзание почвенного горизонта на глубину до 3 м. В весенний период таяние снежного покрова и выпадение осадков в виде дождя со снегом перенасыщают почву влагой, что сказывается на её несущей способности. Проведённые исследования позволили предложить конструктивное решение для подготовки почвы в виде прокалывателя-щелпера, который крепится спереди трактора и позволяет применять его совместно с почвообрабатываемыми агрегатами. Предлагаемое устройство способно прокалывать почву на глубину до 0,42 м, что даёт возможность уменьшить влажность верхнего слоя почвы и создать оптимальные условия для произрастания растений. При работе данного устройства происходит перераспределение нагрузки между ведущими мостами трактора: снижение нагрузки на передний мост – с 67,3 кН до 60,5 кН, а увеличение на задний мост – с 33,1 кН до 38,6 кН. Это позволило в конечном итоге снизить плотность почвы после прохода трактора на 7,2 %, твёрдость почвы – на 6,1 %, глубину колеи – на 9,6 %. Использование предлагаемого устройства в агрегате с БДМ-6х4п даёт возможность получить экономию полных энергозатрат в размере 1841,53 МДЖ/га.

**Ключевые слова:** трактор, машинно-тракторный агрегат, прокалыватель-щелпер, нагрузка, почва, физико-механические свойства, твёрдость, плотность, влажность, глубина.

**Благодарности:** работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

**Для цитирования:** Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Поликутина Е.С., Бурмага А.В., Сурин Р.О. Оптимизация процессов предпосевной подготовки почвы в Амурской области // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4(52). С. 80–89. EDN: YGBDJM.

### Scientific article

## OPTIMIZATION OF PRE-SOWING SOIL PREPARATION PROCESSES IN THE AMUR REGION

Sergey V. Shchitov<sup>1</sup>, Zoya F. Krivutsa<sup>2</sup>✉, Elena S. Polikutina<sup>3</sup>, Andrei V. Burmaga<sup>4</sup>, Roman O. Surin<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia

<sup>1</sup> shitov.sv1955@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2409-450X>

<sup>2</sup> zfk20091@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-5345-1732>

<sup>3</sup> e.polikytina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1421-3321>

<sup>4</sup> burmaga@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2169-658X>

<sup>5</sup> roman\_surin81.81@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-7667-551X>

**Abstract.** The purpose of the research is to determine the effectiveness of the soil preparation process, taking into account the regional characteristics of the Amur region. Carrying out agricultural work, such as harvesting, soil preparation and sowing, largely depends on the regional characteristics of the Amur region. In the region under study, the main cultivated area is occupied by soybeans, the production volume of which in the Russian Federation is over 40% [1]. Late harvesting dates (with the onset of negative temperatures) do not allow for preparing the soil for

spring sowing in autumn. The air temperature in winter reaches  $-40...-45$  °C, which causes the soil horizon to freeze to a depth of 3 m. In spring, the melting of snow cover and precipitation in the form of rain and snow saturate the soil with moisture, which affects its bearing capacity. The conducted research made it possible to propose a constructive solution for soil preparation in the form of a piercing-milling chisel plough, which is attached to the front of the tractor and allows it to be used in conjunction with tillable units. The proposed device is capable of piercing the soil to a depth of 0.42 m, which makes it possible to reduce the humidity of the upper soil layer and create optimal conditions for plant growth. When this device is in operation, the load is redistributed between the tractor's drive axles: the load on the front axle decreased from 67.3 kN to 60.5 kN, and the increase on the rear axle is from 33.1 kN to 38.6 kN. This eventually made it possible to reduce the soil density after a tractor pass by 7.2%, soil hardness by 6.1%, and track depth by 9.6%. The use of the proposed device in an aggregate with four-row disk harrow BDM-6x4p makes it possible to obtain savings in total energy consumption in the amount of 1,841.53 MJ/ha.

**Keywords:** tractor, machine-tractor unit, piercing-milling chisel plough, load, soil, physical and mechanical properties, hardness, density, humidity, depth.

**Acknowledgments:** the work was funded from the budget of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'Far Eastern State Agrarian University'. No additional grants have been received to conduct or direct this particular study.

**For citation:** Shchitov S.V., Krivitsa Z.F., Polikutina E.S., Burmaga A.V., Surin R.O. Optimization of pre-sowing soil preparation processes in the Amur region. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2024; (4-52): 80–89. EDN: YGBDJM. (In Russ).

**Введение.** Увеличение эффективности проведения подготовки почвы для посевных работ должно идти по пути снижения энергетических затрат. Это возможно достичь применением комбинированных машинно-тракторных агрегатов (МТА), сокращающих количество операций и снижающих отрицательное воздействие на почву за счёт уменьшения числа прохода их по полю [1–3]. В настоящее время в Амурской области для улучшения отвода влаги с верхних слоёв почвы в нижние горизонты применяется щелевание почвы. Данная операция кроме отвода излишней влаги позволяет снизить переуплотнение почвы, вызванное воздействием на неё ходовыми системами машинно-тракторных агрегатов. Почвы региона в основном представлены тяжёлым суглинком, что ухудшает отвод излишней влаги в нижние почвенные горизонты. Сроки проведения посевных работ сильно ограничены, так как с повышением температурного режима начинает-

ся таяние мерзлотного основания, что ещё больше усугубляет положение [4–6]. Для проведения щелевания почвы используются различные орудия (рисунок 1).

Решение данной проблемы должно идти по пути одновременного проведения щелевания почвы и её подготовки под посев. На сегодняшний день имеющиеся агрегаты для щелевания почвы не приспособлены для одновременного использования с орудиями, предназначенными для подготовки почвы без конструктивных особенностей (расположение после энергетического средства) [7]. Кроме того, для снижения энергозатрат, связанных с процессом щелевания, необходимо изменить способ получения каналов, служащих для отвода избыточной влаги в нижние почвенные горизонты.

На основании проведенного анализа существующих конструкций для щелевания почв было разработано и предложено устройство (фрон-

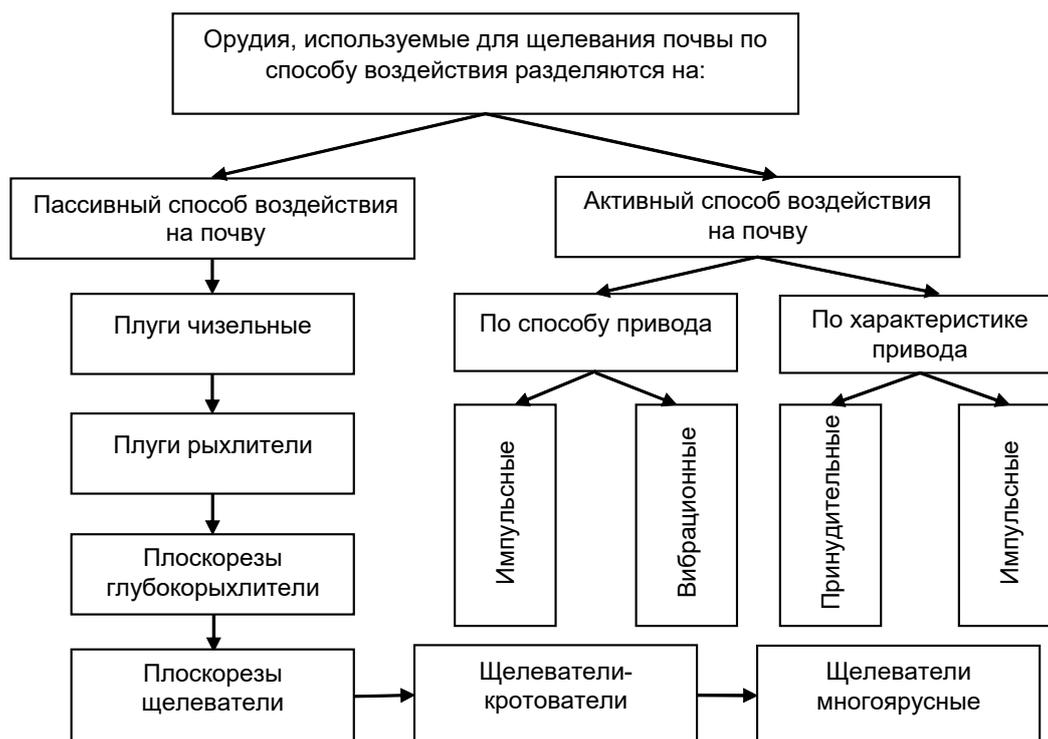


Рисунок 1 – Агрегаты, используемые для щелевания почвы

тальный прокальватель-щелерез) [8], которое позволяет на ряду с отводом влаги иметь меньшее сопротивление при обработке, дает возможность снизить нагрузку на передний мост трактора с шарнирно-сочленённой рамой (снизит техногенное воздействие ходовой системы на почву) и использовать в агрегате почвообрабатывающее орудие (уменьшить энергозатраты и сроки подготовки почвы).

**Материалы и методы.** При проведении исследований, направленных на определение нагрузки, приходящейся на рабочий орган прокальвателя-щелереза и опорную поверхность энергетического средства (трактора), за основу была взята методика в соответствии с ГОСТ 58656-219 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву». Физико-механические свойства почвы определялись с учётом требований ГОСТ 26953-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву». Для топливно-энергетической оценки использования комбинированного машинно-тракторного агрегата применялась методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве предложенная ВИМ [9].

Экспериментальные исследования проведены в производственных условиях КФХ «Швецов С. Н» Благовещенского района Амурской области. Почва данного хозяйства является типичной для южного района Амурской области, луговая черноземовидная с механическим составом – тяжёлый суглинок. Для проведения исследований выбирались в основном горизонтальные участки с углом наклона поверхности не более 2 градусов.

При измерении нагрузки, приходящейся на рабочий орган прокальвателя-щелереза и опорную поверхность энергетического средства (трактора), использовались весы платформенные электронные марки МВСК(В). Для определения физико-механических характеристик почвы использовали следующее оборудование: влажность почвы – цифровой влагомер «PMS-710», плотность почвы – цилиндр-бур, твёрдость – цифровой измеритель твердости грунта TYD-2, глубина обработки и глубина следа измерялись с помощью измерительной линейки, угол наклона – инклинометром Absolute Digital Protractor. Для измерения пройденного расстояния, времени движения, скорости движения и частоты вращения ведущих колес энергетического средства использовался комплекс MAGENE C406 Pro. Фиксация измеряемых пара-

метров осуществлялась бортовым регистрирующим устройством [10–12].

Цель исследований – увеличение эффективности процесса щелевания почвы за счёт использования многофункционального машинно-тракторного агрегата.

Для выполнения обозначенной цели были поставлены следующие задачи исследований:

- провести анализ существующих почвообрабатывающих орудий, используемых для щелевания почвы;

- разработать и обосновать конструкцию щелевателя, используемого в составе многофункционального машинно-тракторного агрегата;

- провести производственные исследования предлагаемого многофункционального машинно-тракторного агрегата с целью обоснования его конструктивно-технологических параметров;

- установить влияние предлагаемого многофункционального машинно-тракторного агрегата на физико-механические свойства почвы;

- обосновать эффективность использования предлагаемого многофункционального машинно-тракторного агрегата с использованием топливно-энергетической оценки.

Взаимосвязь между целью и задачами исследования показана на рисунке 2.

В качестве объекта исследований использовали машинно-тракторный агрегат – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокальватель-щелерез), установленное в передней части энергетического средства (рисунок 3). Предлагаемый машинно-тракторный агрегат позволяет выполнять одновременно две технологические операции:

- щелевание почвы;

- подготовка почвы под посевные работы безотвальным способом.

Как видно из представленного алгоритма (рисунок 2), конечный результат исследований – снижение полных энергетических затрат [13–15].

Установленное на трактор устройство (фронтальный прокальватель-щелерез) работает следующим образом. При выезде на поле с целью подготовки почвы под посевные работы трактор при помощи гидрораспределителя направляет поток масла под давлением в дополнительно установленный гидроцилиндр, который, воздействуя на рамную конструкцию, и передаёт нагрузку на рабочий орган прокальвателя-щелереза. Рабочий орган под действием на него нагрузки прокальвает почвенный горизонт и, перекатываясь в процессе движения, проводит процесс щелевания. При этом образуются каналы для отвода излишней влаги с верхних почвенных горизонтов

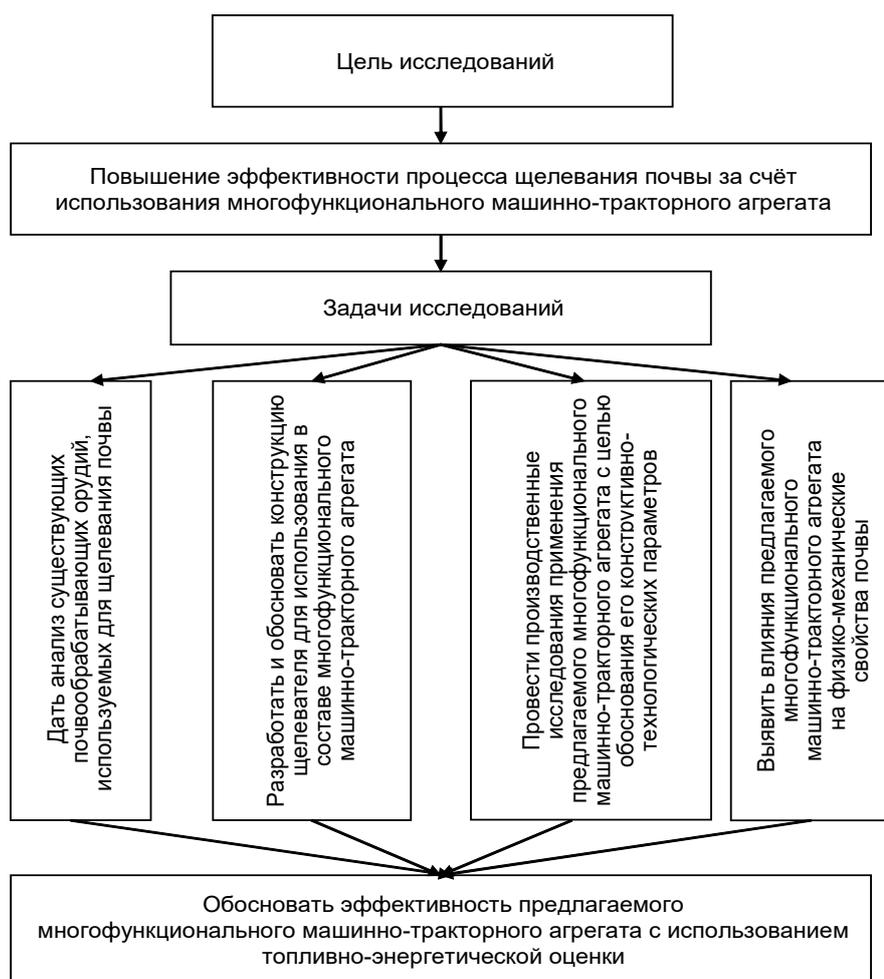


Рисунок 2 – Алгоритм взаимосвязи цели и задачи исследований

в более нижние. Необходимо отметить, что данный рабочий орган в процессе создания каналов для отвода излишней влаги уплотняет при этом и стенки данных каналов. При передаче нагрузки с переднего моста трактора на устройство (фронтальный прокальватель-щелерез) происходит одновременно и перераспределение сцепного веса между мостами трактора [16–18]. Проведённые теоретические исследования позволили определить перераспределение нагрузки, приходящейся на ведущие мосты трактора с шарнирно-сочленённой рамой:

– передний ведущий мост

$$y''_{\text{п}} = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}})}{B} - \frac{x_c h + y_c(B + b)}{B}, \quad (1)$$

– задний ведущий мост

$$y''_3 = \frac{G_{\text{п}} b_{\text{п}} + G_3(B - b_3)}{B} + \frac{x_c h + y_c b}{B}, \quad (2)$$

где  $G_3, G_{\text{п}}$  – нагрузка, создаваемая задней и передней полурамами трактора соответственно, Н,  $B$  – продольная база колесного трактора с шарнирно-сочленённой рамой, м;

$b_3$  – расстояние между реакцией почвы на задний ведущий движитель до точки расположения центра тяжести задней полурамы трактора, м;

$b_{\text{п}}$  – расстояние между реакцией почвы на передний ведущий движитель до точки расположения центра тяжести передней полурамы трактора, м;

$x_c$  и  $y_c$  – силовые реакции, возникающие в точке крепления устройства (фронтальный прокальватель-щелерез) к трактору, Н;

$h$  – расстояние от точки крепления устройства (фронтальный прокальватель-щелерез) к трактору до опорной поверхности, по которой движется трактор с шарнирно-сочленённой рамой, м;

$b$  – расстояние от точки крепления устройства (фронтальный прокальватель-щелерез) к трактору до реакции почвы на передний ведущий движитель трактора с шарнирно-сочленённой рамой, м.



Рисунок 3 – Общий вид машинно-тракторного агрегата – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокальватель-щелерез)

Анализируя полученные аналитические зависимости, необходимо отметить, что при работе предлагаемого устройства (фронтальный прокальватель-щелерез) произошло перераспределение нагрузки, приходящейся на движители трактора с шарнирно-сочленённой рамой [19; 20]:

- снижение нагрузки, приходящейся на передний мост трактора;
- увеличение нагрузки, приходящейся на задний мост трактора.

#### **Результаты исследований и их обсуждение.**

При проведении производственных испытаний машинно-тракторного агрегата – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокальватель-щелерез), были выполнены исследования по распределению влажности почвы по глубине почвенного горизонта.

На основании осуществлённых исследований были получены следующие результаты по распределению влажности:

- на глубине почвенного горизонта 0,05 м влажность почвы составляла 10,3...10,7 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,10 м влажность почвы составляла 12,0...14,5 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,15 м влажность почвы составляла 15,2...18,7 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,20 м влажность почвы составляла 19,1...25,0 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,25 м влажность почвы составляла 26,1...34,2 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,30 м влажность почвы составляла 35,9...39,0 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,35 м влажность почвы составляла 37,2...40,5 %;
- на глубине почвенного горизонта 0,40 м влажность почвы составляла 39,1...42,7 %;

- на глубине почвенного горизонта 0,45 м влажность почвы составляла 40,4...44,1 %.

В результате проведенных исследований установлено, что распределение влаги по глубине почвенного горизонта неравномерное. Необходимо отметить, что перенасыщение почвы влагой наблюдается уже на глубине почвенного горизонта 0,2 м до 25 %. В связи с этим возникает острая необходимость отвода избыточной влаги в нижние слои почвенного горизонта с целью обеспечения благоприятных условий для произрастания и развития сельскохозяйственных культур.

Проведённые исследования по определению глубины прокальвания почвенного горизонта показали, что, регулируя длину выхода штока гидроцилиндра устройства (фронтальный прокальватель-щелерез), можно изменять глубину прокальвания почвенного горизонта:

- длина выхода штока гидроцилиндра 0,55 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,33 м;
- длина выхода штока гидроцилиндра 0,57 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,34 м;
- длина выхода штока гидроцилиндра 0,60 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,36 м;
- длина выхода штока гидроцилиндра 0,62 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,38 м;
- длина выхода штока гидроцилиндра 0,64 м – глубина прокальвания почвенного горизонта составила 0,42 м.

Полученные результаты по влиянию длины выхода штока гидроцилиндра на глубину прокальвания почвенного горизонта позволяют сде-

лать вывод, что при увеличении длины выхода штока гидроцилиндра с 0,55...0,64 м можно изменять глубину прокалывания почвенного горизонта с 0,33...0,42 м. Это позволяет снизить влажность поверхностного горизонта почвы.

В процессе производственных испытаний были проведены исследования по изменению плотности почвы:

– плотность почвы до прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой составляла 1,22 г/см<sup>3</sup>;

– плотность почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой без устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез) составила 1,33 г/см<sup>3</sup>;

– плотность почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой и установленным устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) составила 1,29 г/см<sup>3</sup>.

Полученные результаты показывают, что после прохода серийного трактора с шарнирно-сочленённой рамой без установленного устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез) плотность почвы увеличилась на 9 % по сравнению с контрольным участком поля (до прохода трактора). После прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой и установленным устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) плотность почвы возросла на 5,7 % по сравнению с контрольным участком поля (до прохода трактора).

Результаты исследований по изменению твёрдости почвы:

– твёрдость почвы до прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой составляла 34,4...48,2 МПа;

– твёрдость почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой без устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез) составила 58,6...61,5 МПа;

– твёрдость почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой и установленным устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) составила 55,0...59,2 МПа.

В результате проведенных исследований выявлено, что после прохода серийного трактора с шарнирно-сочленённой рамой без установленного устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез) твердость почвы возросла на 6,1 % по сравнению с твёрдостью почвы после прохода трактора с шарнирно-сочленённой рамой и фронтального прокалывателя-щелереза.

При этом глубина колеи после прохода трактора с установленным устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) снизилась на 9,6 % по сравнению с серийным машинно-тракторным агрегатом без устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез).

Для подтверждения теоретических исследований по перераспределению нагрузки между ведущими мостами трактора с шарнирно-сочленённой рамой была проведена производственная проверка. С этой целью были выполнены экспериментальные исследования по определению параметров нагружающего воздействия гидроцилиндра на раму устройства и перераспределение вертикальной нагрузки между осями колесного полурамного энергетического средства.

При проведении экспериментальных исследований трактор с шарнирно-сочленённой рамой и установленным на него устройством (фронтальный прокалыватель-щелерез) расположили на подготовленную ровную твердую площадку, выбранную методом инклинометрирования. Под прокалывающими элементами устройства установили весоизмерительный комплекс – весы платформенные электронные марки МВСК(В) – и произвели нагружение гидроцилиндром с фиксацией максимальных показателей:

– давление в нагружающем гидроцилиндре – 16 МПа;

– нагрузка на прокалывающий орган – 12,9 кН;

– выход штока гидроцилиндра – 0,64 м.

Исследованиями установлено, что с увеличением длины выхода штока гидроцилиндра произошло изменение нагрузки на рабочий орган устройства (фронтальный прокалыватель-щелерез):

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,55 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 4,2 кН;

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,57 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 5,7 кН;

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,60 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 9,8 кН;

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,62 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 10,8 кН

– длина выхода штока гидроцилиндра 0,64 м – глубина прокалывания почвенного горизонта составила 12,9 кН.

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено влияние длины выхода штока гидроцилиндра на нагрузку, приходящуюся на ведущие мосты трактора с шарнирно-сочленённой рамой.

Изменение нагрузки на передний мост трактора с шарнирно-сочленённой рамой составило:

– при выходе штока гидроцилиндра на 0,55 м – 67,3кН;

– при выходе штока гидроцилиндра на 0,57 м – 65,9кН;

- при выходе штока гидроцилиндра на 0,60 м – 64,6 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,62 м – 62,8 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,64 м – 60,5 кН.

Таким образом, при работе предлагаемого устройства (фронтального прокалывателя-щелера) силовая нагрузка на передний мост снизилась с 67,3 кН до 60,5 кН.

Изменение нагрузки на задний мост трактора с шарнирно-сочленённой рамой составило:

- при выходе штока гидроцилиндра на 0,55 м – 33,1 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,57 м – 35,5 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,60 м – 36,1 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,62 м – 36,9 кН;
- при выходе штока гидроцилиндра на 0,64 м – 38,6 кН.

Таким образом, при работе предлагаемого устройства (фронтальный прокалыватель-щелера) увеличение силовой нагрузки на задний мост варьировалось с 33,1 кН до 38,6 кН.

При расчёте энергетических показателей по методике, предложенной Всероссийским научно-исследовательским институтом механизации сельского хозяйства [9], учитывались методические, нормативные и справочные материалы, а также результаты хронометражных наблюдений за работой машинно-тракторного агрегата – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокалыватель-щелера).

В основу расчёта энергетической эффективности было положено то, что операция по подготовке почвы для посевных работ и щелерание проводят по отдельности, а использование предлагаемого устройства (фронтальный прокалыватель-щелера) совмещает эти две операции.

На основе вышеизложенной методики была проведена топливно-энергетическая оценка, полученные данные обобщены в таблице 1.

Анализируя топливно-энергетическую оценку проведенных исследований (таблица 2), можно сделать вывод, что использование машинно-тракторного агрегата – трактор «Кировец» + БДМ-6х4 + устройство (фронтальный прокалыватель-щелера) – позволяет достичь экономию полных энергозатрат в размере 1841,53 МДж/га. В пересчёте на рублёвый эквивалент экономический эффект составил 418,43 руб/га.

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что повысить эффективность процесса щелерания почвы можно путём использования многофункционального машинно-тракторного агрегата, а также за счёт совмещения двух операций – щелерание и подготовка почвы. Полученные результаты по влиянию длины выхода штока гидроцилиндра на глубину прокалывания почвенного горизонта показывают, что при увеличении длины выхода штока гидроцилиндра с 0,55...0,64 м можно изменять глубину прокалывания почвенного горизонта с 0,33...0,42 м, это позволяет уменьшить влажность поверхностного слоя почвы и создать оптимальные условия для роста и развития растений. При работе предложенного устройства происходит перераспределение нагрузки между ведущими мостами трактора: снижение нагрузки на передний мост с 67,3 кН до 60,5 кН и увеличение её на задний мост с 33,1 кН до 38,6 кН. Все это позволило уменьшить плотность почвы после прохода трактора на 7,2 %, твёрдость почвы – на 6,1 %, глубину колеи – на 9,6 %. Использование предлагаемого устройства в агрегате с БДМ-6х4п позволило получить экономию полных энергозатрат в размере 1841,53 МДж/га.

#### Список источников

1. Министерство сельского хозяйства Амурской области, официальный сайт [Электронный ресурс]: URL <http://www.agroamur.ru/> (дата обращения: 02.02.2024).
2. Surin R., Shchitov S., Kuznetsov E., Evdokimov V. Raising the efficiency of using tillage machines based on a semi-frame tractor // AIP

Таблица 1 – Топливо-энергетическая оценка проведенных исследований, МДж/га

Показатель	«Кировец» + ПГЧ-3	«Кировец» + БДМ-6х4п	«Кировец» + БДМ-6х4п + устройство
Прямые затраты, МДж	1749,64	1196,29	1243,72
Затраты живого труда, МДж	0,48	0,45	0,45
Суммарная энергоёмкость МТА, МДж	146,29	258,83	265,99
Совокупные энергозатраты, Дж/га	1896,41	1455,28	1510,16
Экономия полных энергозатрат, МДж/га	-	-	1841,53

conference proceedings : PROCEEDINGS OF THE IV INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERNIZATION, INNOVATIONS, PROGRESS: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022. 2024. P. 030002. DOI: 10.1063/5.0196715. EDN: GVJEVK.

3. Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Поликутина Е.С. Результаты экспериментальных исследований по определению влияния устройства для перераспределения сцепного веса на тяговые свойства и ходовую систему колёсного трактора // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 95-98. EDN: UMKOJJ.

4. Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones / R. Surin [et al.] // E3S Web of Conferences: XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023). 2023. P. 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101002. EDN: AXOZIN.

5. Application of multi-criteria in the selection of running systems for regional use of tractors in agriculture/R. Surin [et al.] // E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference «Development and Modern Problems of Aquaculture» (AQUACULTURE 2022). 2023. Vol. 381. P. 01032. DOI: 10.1051/e3sconf/202338101032. EDN: AKPDOD.

6. Investigation of the motion parameters of technological complexes using a quaternion data fixation apparatus / S. Us [et al.] // E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023. 2023. Vol. 402. P. 03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202340203002. EDN: MKONKD.

7. Expanding the technological capabilities of energy facilities in the zones of «risk farming» / A.S. Vtornikov [et al.] // XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022». 2023. Vol. 574. P. 99-105. EDN: OIKKPM.

8. Фронтальный прокалыватель-щелеврез: пат. 2769449 Рос. Федерация. № 2; 769; 449; С1 / Сурин Р.О., Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Панова Е.В., Евдокимов В.Г., Муратов А.А.; заявл. 11.01.2021; опублик. 31.03.2022, Бюл. № 10. 6 с. EDN: EQSCET.

9. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / А.Н. Никифоров [и др.]. М: ВИМ, 1995. 95 с. EDN: ULVKJN.

10. Improving the Efficiency of Wheel-Wheeling Machine-Tractor Units in Areas with Special Natural and Climatic Conditions / A. Slepnev [et al.] // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural

Innovation Systems. 2022. Vol. 353. P. 36-43. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8\_5. EDN: JWRGEN.

11. Повышение тягового усилия, развиваемого колёсным энергетическим средством, на почвах с высокой степенью липкости / Р.О. Сурин [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. 2023. № 64. С. 48-52. EDN: VUFEVT.

12. Хафизов К.А., Халиуллин Ф.Х. Пути повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 20-22. EDN: UQFKLR.

13. Направления исследований для снижения силы сопротивления движению колёсного энергетического средства / Е.В. Маршанин [и др.] // Аграрный научный журнал. 2023. № 7. С. 147-152. DOI: 10.28983/asj.y2023i7pp147-152. EDN: BMXJJE.

14. Применение современных цифровых приборов для фиксации параметров движения сельскохозяйственных агрегатов / С.С. Ус [и др.] // Аграрный научный журнал. 2023. № 8. С. 147-154. EDN: ZBRLHT.

15. Повышение производительности прицепных агрегатов почвообрабатывающих машин / Е.С. Поликутина [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 3 (51). С. 71-77. EDN: YPCPOU.

16. Optimization of the width of the transportation corridor of tractor trains for agricultural purpose / A.N. Kushnarev [et al.] // Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021): E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. Vol. 262. P. 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201004. EDN: GOXSUL.

17. Оптимальные параметры трактора и пахотного агрегата по различным критериям оптимизации / К.А. Хафизов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 155-160. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp155-160. EDN: ZIUWJV.

18. Influence of natural production conditions on efficient operation of wheel tractors / A.A. Shuravin [et al.] // BIO Web of Conferences: Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021). 2022. Vol. 42. P. 03003. DOI: 10.1051/bioconf/20224203003. EDN: RPKJZC.

19. Влияние установки прокалывателя-щелевателя на распределение нормальных реакций почвы и нагрузки на движители полурамного трактора / Р.О. Сурин, С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов [и др.] // Агро-ЭкоИнфо. 2021. № 2 (44). EDN: JMXGCA.

20. Улучшение реализации тягового усилия моблочного трактора с колёсной формулой 4К2 / Е.С. Поликутина [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 2 (50). С. 71-78. EDN: GCYCKG.

## References

1. Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Amurskoi oblasti, ofitsial'nyi sait [Ministry of Agriculture of the Amur Region, official website] [Internet]: URL <http://www.agroamur.ru/> (Accessed: 02.02.2024). (In Russ).
2. Surin R., Shchitov S., Kuznetsov E., Evdokimov V. Raising the efficiency of using tillage machines based on a semi-frame tractor. *AIP conference proceedings : PROCEEDINGS OF THE IV INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERNIZATION, INNOVATIONS, PROGRESS: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022*. 2024; 030002. DOI: 10.1063/5.0196715. EDN: GVJEVK.
3. Shchitov S.V., Kuznetsov E.E., Polikutina E.S. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy po opredeleniyu vliyaniya ustroystva dlya pereraspredeleniya stsepnogo vesa na tyagovye svoystva i khodovuyu sistemu kolesnogo traktora [Results of experimental studies to determine the influence of a device for redistributing the adhesion weight on the traction properties and running gear of a wheeled tractor]. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2015; 29(10): 95-98. EDN: UMKOJJ. (In Russ).
4. Surin R. et al. Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones. *E3S Web of Conferences: XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023)*. 2023; 01002. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101002. EDN: AXOZIN.
5. Surin R. et al. Application of multi-criteria in the selection of running systems for regional use of tractors in agriculture. *E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference «Development and Modern Problems of Aquaculture» (AQUACULTURE 2022)*. 2023; (381): 01032. DOI: 10.1051/e3sconf/202338101032. EDN: AKPDOD.
6. Us S. et al. Investigation of the motion parameters of technological complexes using a quaternion data fixation apparatus. *E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023*. 2023; (402): 03002. DOI: 10.1051/e3sconf/202340203002. EDN: MKOHKD.
7. Vtornikov A.S. et al. Expanding the technological capabilities of energy facilities in the zones of «risk farming». *XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022»*. 2023; (574): 99-105. EDN: OIKKPM.
8. Frontal'nyi prokalyvatel'-shchelerez [Frontal piercer-slot cutter]: Pat. 2769449 Rus. Federation. No 2 769 449 C1 / Surin R.O., Kuznetsov E.E., Shchitov S.V., Panova E.V., Evdokimov V.G., Muratov A.A.; dec. 11 January 2021; publ. 31 March 2022, Bull. No 10. EDN: EQSCET. (In Russ).
9. Nikiforov A.N. et al. *Metodika energeticheskogo analiza tekhnologicheskikh protsessov v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve* [Methodology of energy analysis of technological processes in agricultural production]. Moscow: VIM; 1995: 95. EDN: ULVKJN. (In Russ).
10. Slepnev A. et al. Improving the Efficiency of Wheel-Wheeling Machine-Tractor Units in Areas with Special Natural and Climatic Conditions. *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems*. 2022; (353): 36-43. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8\_5. EDN: JWRGEN.
11. Surin R.O. et al. Povyshenie tyagovogo usiliya, razvivaemogo kolesnym energeticheskim sredstvom, na pochvakh s vysokoi stepen'yu lipkosti [Increasing the traction force developed by a wheeled power vehicle on soils with a high degree of stickiness]. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2023; (64): 48-52. EDN: VUF EVT. (In Russ).
12. Khafizov K.A., Khaliullin F.Kh. Puti povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya mashinno-traktornykh agregatov [Ways to improve the efficiency of using machine and tractor units]. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2015; (10): 20-22. EDN: UQFKLR. (In Russ).
13. Marshanin E.V. et al. Napravleniya issledovaniy dlya snizheniya sily soprotivleniya dvizheniyu kolesnogo energeticheskogo sredstva [Research Directions for Reducing the Force of Resistance to the Movement of Wheeled Power Vehicles]. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; (7): 147-152. DOI: 10.28983/asj.y2023i7pp147-152. EDN: BMXJJE. (In Russ).
14. Us S.S. et al. Primenenie sovremennykh tsifrovyykh priborov dlya fiksatsii para-metrov dvizheniya sel'skokhozyaistvennykh agregatov [Application of modern digital devices for recording the parameters of movement of agricultural units]. *Agrarian Scientific Journal*. 2023; (8): 147-154. EDN: ZBRLHT. (In Russ).
15. Polikutina E.S. et al. Povyshenie proizvoditel'nosti pritsepnykh agregatov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Increasing the productivity of trailed units of soil-cultivating machines]. *Vestnik Kurganskoy GSXA*. 2024; 3(51): 71-77. EDN: YPCPOU. (In Russ).
16. Kushnarev A.N. et al. Optimization of the width of the transportation corridor of tractor trains for agricultural purpose. *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA2021): E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference*. 2021; (262): 01004.

DOI: 10.1051/e3sconf/202126201004. EDN: GOXSUL. (In Russ).

17. Khafizov K.A. et al. Optimal'nye parametry traktora i pakhotnogo agregata po razlichnym kriteriyam optimizatsii [Optimal parameters of the tractor and plowing unit according to various optimization criteria]. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; (1): 155-160. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp155-160. EDN: ZIUWJV. (In Russ).

18. Shuravin A.A. et al. Influence of natural production conditions on efficient operation of wheel tractors. *BIO Web of Conferences: Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021)*. 2022; (42): 03003. DOI: 10.1051/bioconf/20224203003. EDN: RPKJZC.

19. Surin R.O., Shchitov S.V., Kuznetsov E.E. Vliyaniye ustanovki prokalyvatelya-shchelevatelya na raspredeleniye normal'nykh reaktsii pochvy i nagruzki na dvizhiteli poluramnogo traktora [The influence of the installation of a piercer-slotter on the distribution of normal soil reactions and loads on the propellers of a semi-frame tractor]. *AgroEkolInfo*. 2021; 2(44). EDN: JMXGCA. (In Russ).

20. Polikutina E.S. et al. Uluchsheniye realizatsii tyagovogo usiliya monoblochnogo traktora s kolesnoi formuloi 4K2 [Improving the implementation of traction force of a monoblock tractor with a 4K2 wheel arrangement]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2024; 2(50): 71-78. EDN: GCYCKG. (In Russ).

#### ВКЛАД АВТОРОВ

Щитов С.В. – научное руководство, концепция исследования, участие в разработке экспериментов и их реализация.

Кривуца З.Ф. – написание исходного текста.

Поликутина Е.С. – развитие методологии.

Бурмага А.В. – итоговые выводы, участие в разработке экспериментов и их реализация.

Сурин Р.О. – участие в разработке экспериментов и их реализация.

#### AUTHORCONTRIBUTION

Shchitov, S.V. – scientific guidance; research concept, participation in the development of experiments and their implementation.

Krivutsa, Z.F. – writing the original text.

Polikutina, E.S. – development of methodology.

Burmaga, A.V. – final conclusions, participation in the development of experiments and their implementation.

Surin, R.O. – participation in the development of experiments and their implementation.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

#### COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

There are no human or animal studies in the work.

#### Информация об авторах

С.В. Щитов – доктор технических наук, профессор; AuthorID 534354.

З.Ф. Кривуца – доктор технических наук, профессор; AuthorID 356759.

Е.С. Поликутина – кандидат технических наук; AuthorID 976828.

А.В. Бурмага – доктор технических наук; AuthorID 552396.

Р.О. Сурин – аспирант; AuthorID 1105037.

#### Information about the author

S.V. Shchitov – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 534354.

Z.F. Krivutsa – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 356759.

E.S. Polikutina – Candidate of Technical Sciences; AuthorID 976828.

A.V. Burmaga – Doctor of Technical Sciences; AuthorID 552396.

R.O. Surin – Postgraduate Student; AuthorID 1105037.

Статья поступила в редакцию 26.11.2024; одобрена после рецензирования 02.12.2024; принята к публикации 17.12.2024.

The article was submitted 26.11.2024; approved after reviewing 02.12.2024; accepted for publication 17.12.2024.