

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ПОЛОСОВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПО ТЕХНОЛОГИИ STRIP-TILL

Гуреев И.И.

**Реферат.** При возделывании сельскохозяйственных культур в системе почвозащитного экологически безопасного земледелия эффективна технология Strip-Till, позволяющая обрабатывать почву полосами в зоне рядков и тем самым ограничивать площадь, подвергающуюся рыхлению. Необходимые параметры рыхления полос за один проход достигаются фрезерными рабочими органами. Их недостаток – повышенная энергоёмкость. Цель исследований – совершенствование рабочих органов почвообрабатывающих фрез для полосовой обработки почвы в направлении снижения энергоёмкости. Создана инновационная фреза с разновеликими ножами, позволяющая при сохранении заданного качества крошения почвы снизить интенсивность излишнего измельчения нижней части фрезеруемого пласта до мелких эрозионных опасных частиц. Сравнительные испытания инновационной и базовой фрез проводили на почве влажностью 21 % и твёрдостью 1,6 МПа. В испытаниях изменяли следующие факторы: глубина обработки – в диапазоне 8...12 см, поступательная скорость – от 0,61 до 1,09 м/с. Результаты испытаний представляли в виде математических моделей взаимосвязи варьируемых факторов с энергоёмкостью фрезерования почвы сравнимыми конструкциями. В соответствии с методикой оптимального планирования многофакторного эксперимента использовали центральный ортогональный композиционный план. Применительно к каждой из испытываемых конструкций составляли матрицу планирования эксперимента. При двух факторах она содержит ядро в количестве  $2^2 = 4$  опытов, четыре звёздные точки и один центральный опыт. Сопоставлением моделей установлено снижение энергоёмкости полосового фрезерования почвы с использованием инновации в среднем на 15,8 % при одинаковом качестве крошения почвы. Это позволяет рекомендовать инновацию к использованию в составе комплекса почвообрабатывающих и посевных машин для возделывания культур по технологии Strip-Till.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственная культура, обработка почвы, технология Strip-Till, почвообрабатывающая фреза, разновеликие ножи, энергоёмкость.

**Введение.** Обработка почвы – основополагающий приём в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Его применение позволяет рыхлить переуплотнённую почву, подавлять вредные организмы, а также создавать аэробные условия, способствующие минерализации органического вещества почвы и восполнению элементов минерального питания растений.

Но любой обработке почвы, наряду с полезными функциями, сопутствуют отрицательные последствия в виде нарастающих затрат на исполнение, а также техногенной деградации почвы – уплотнения и разрушения структуры движителями и рабочими органами сельскохозяйственных машин [1].

Требуемый набор функций обработки почвы определяет способ и режим её исполнения. Решая вопрос о целесообразности применения конкретного способа обработки, проводят анализ потребностей в его функциях с учетом исходного состояния почвы. Обработку минимизируют в необходимых пределах и тем самым предотвращают технологически не обусловленное излишнее расходование всех видов ресурсов, одновременно создавая предпосылки для устранения техногенной деградации почвы [2, 3].

Перспективное направление почвозащитного земледелия – минимизация обработки почвы, что в определённых условиях позволяет снизить затраты на выполнение работ и увеличить урожайность культур. Предельный случай минимизации – отказ от обработки почвы, то есть прямой посев [4]. Помимо со-

кращения затрат на обработку почвы, эффективность этого приёма состоит в снижении интенсивности эрозионных процессов [5, 6], а также в повышении плодородия почвы вследствие увеличения содержания органического вещества и улучшения структурности [7, 8, 9].

Прямой посев предполагает исключение любого механического воздействия на почву в период от уборки предшествующей до посева следующей культуры, кроме нарезки борозд для заделки семян. Обязательное условие его использования – уничтожение вредных организмов пестицидами, сохранение стерни и равномерно разбросанной измельчённой соломы на поверхности поля [10].

Однако при прямом посеве не используется ряд функций обработки, благоприятно сказывающихся на снижении общих затрат по возделыванию культур и свойствах почвы [11]. К числу таких функций можно отнести механическое уничтожение сорняков [12]. Его ограниченное использование при минимизации обработки приводит к повышению засорённости посевов [13]. Замена механического уничтожения сорняков гербицидами обходится значительно дороже [14]. Кроме того, гербициды оказывают негативное воздействие на окружающую среду [15]. Поэтому пренебрегать этой функцией обработки почвы возможно лишь при засорённости посевов, не превышающей экономического порога вредоносности.

Эффективность механической обработки почвы, особенно отвальной, бесспорна в уничтожении, помимо сорняков, других вредных

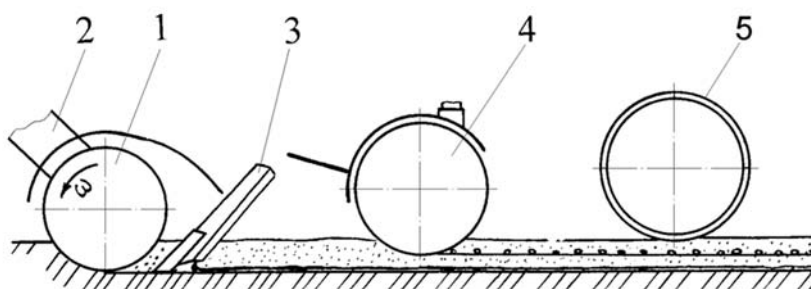


Рисунок 1 – Схема посева зерновых культур комбинированной машиной по технологии Strip-Till: 1 – почвообрабатывающая фреза; 2 – редуктор; 3 – долотообразный туковый сошник для внесения удобрений; 4 – ускорительный двухдисковый сошник для посева; 5 – каток;  $\omega$  – направление вращения фрезы

организмов, а также в обеспечении культур питательными веществами из минерализуемого органического вещества почвы. Но если функции обработки почвы в уничтожении вредных организмов могут быть заменены химическими средствами защиты растений, а минерализация органического вещества – удобрениями, то для обеспечения оптимальной для развития растений плотности почвы альтернатива её механического рыхления отсутствует.

Благоприятная для большинства сельскохозяйственных культур плотность почвы – не более  $1,3 \text{ г/см}^3$ . Однако при интенсивном земледелии, характеризующемся повышенной техногенной нагрузкой на почву, последняя переуплотняется и её равновесная плотность зачастую больше обозначенного предела. Особенно подвержена переуплотнению глинистая и суглинистая почва [1, 16]. Ликвидировать переуплотнение возможно только механическим рыхлением почвы.

Компромиссный вариант минимизации механического воздействия на почву заключается в ограничении площади поля, подвергающейся рыхлению, путем полосовой обработки лишь в зоне рядков сельскохозяйственных культур (технология Strip-Till).

Учитывая, что в разрыхленную полосу высевают семена возделываемых культур, качество рыхления должно соответствовать требованиям, предъявляемым к предпосевной обработке почвы. Структура её должна быть мелкокомковатой, что не всегда возможно при использовании пассивных почвообрабатывающих рыхлителей, особенно в условиях глинистых и суглинистых почв.

Требуемые показатели рыхления могут обеспечить почвообрабатывающие фрезы с приводом от вала отбора мощности (ВОМ) трактора, использование которых к тому же сокращает потери энергии на буксование движителей и снижает разрушающее их воздействие на почву. Уникальность почвообрабатывающих фрез состоит в возможности за один проход устанавливать необходимое качество рыхления в зависимости от складывающихся почвенных условий. Изменением поступательной скорости перемещения агрегата и угловой скорости вращения фрез регулируется подача

на их ножи и, соответственно, степень измельчения почвы с тем, чтобы пласт с должным качеством обрабатывался за один проход независимо от его исходного состояния.

Высокая экономико-экологическая эффективность отмечена при посеве зерновых культур по технологии Strip-Till комбинированной машиной, разработанной ФГБНУ «Курский ФАНЦ». Ее использование открывает возможности для совмещения фрезерной полосовой обработки почвы на глубину  $10...12 \text{ см}$ , посева и локального внесения ниже уровня семян минеральных удобрений в дозе, достаточной для формирования планируемой урожайности. Почва под каждый рядок культуры на глубину заделки удобрений обрабатывается полосами узкими почвообрабатывающими фрезами 1, объединёнными в блоки по две фрезы (рисунок 1).

Фрезы приводятся во вращение от ВОМ трактора через редуктор 2. Поперечное сечение каждой из фрезеруемых полос имеет форму прямоугольного треугольника. На её дно долотообразный туковый сошник 3 размещает основную дозу минеральных удобрений, одновременно подрезая почву со стороны вертикальной стенки полосы. Вдоль полосы, как по направляющей, перемещается ускорительный двухдисковый сошник 4. Внешними плоскостями правого и левого дисков он упирается в необработанные стенки, раздвигает их, формирует выше удобрений два уплотнённых ложа и укладывает на них семена. Каток 5 уплотняет почву в зоне высеянных семян.

В результате испытаний комбинированной машины на посеве озимых и яровых зерновых культур установлено снижение общих затрат энергии на  $1,7...23,1 \%$ , топлива – на  $3,7...32,2 \%$ . Прибавка урожайности зерновых культур с её использованием составила  $0,36...0,53 \text{ т/га}$  [17].

Повышенная энергоёмкость фрезы, используемой в комбинированной машине, обусловлена особенностью её конструкции. Ножи на дисках фрезы выполнены одинаковой длины и размещены поочерёдно на равном угле от удаленности один от другого. При перемещении их сверху-вниз толщина фрезеруемых стружек уменьшается ко дну борозды, то есть нижняя часть обрабатываемого почвенного

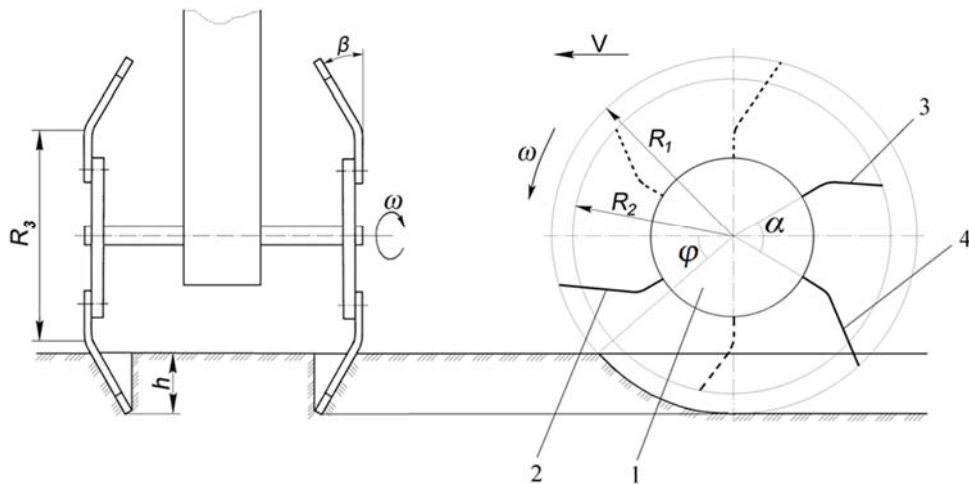


Рисунок 2 – Размещение разновеликих ножей на диске фрезы для полосовой обработки почвы: 1 – диск фрезы; 2, 3, 4 – ножи с разновеликими стойками;  $V$  – поступательная скорость фрезы;  $\alpha$  – угловое расстояние между ножами с разновеликими стойками;  $\beta$  – угол наклона прямых стоек ножей к плоскости вращения диска;  $\varphi$  – угол входа ножей в почву;  $\omega$  – направление вращения фрезы;  $R_1, R_2$  – радиусы разновеликих ножей;  $R_3$  – радиус изгибов ножей;  $h$  – глубина обработки почвы

пласта измельчается фрезой с возрастающей интенсивностью, что противоречит желанию.

В повышенной интенсивности измельчения нуждается не нижняя, а верхняя часть пласта, пронизанная корнями растений предшественника и более связная. Испытания фрезы с Г-образными ножами на сплошной обработке почвы показали, что для достижения требуемого измельчения верхней части пласта приходится его нижнюю часть вынужденно излишне измельчать и распылять до эрозионных опасных частиц, на что к тому же непроизводительно расходуется энергия [18].

Цель исследований – совершенствование фрезерных рабочих органов для полосовой обработки почвы по технологии Strip-Till в направлении снижения энергоёмкости.

**Условия, материалы и методы исследований.** Стереотип равноудалённого поочерёдного размещения ножей на дисках базовой фрезы подкупает симметрией, которая воспринимается однозначно оптимальной и не побуждает исследователей совершенствовать конструкцию.

Разрушить такой стереотип может фреза с неравномерным размещением на диске 1 (рисунок 2) ножей 2, 3 и 4, выполненных с разновеликими стойками [18]. Эффективность такого инновационного рабочего органа возможна, если разновеликие ножи устанавливать на диске в последовательности, при которой измеренный в одном направлении угол между ножами 4 и 2 превышает угол между ножами 3 и 4.

Радиусы  $R_1$  и  $R_2$  разновеликих ножей обеспечивают одинаковую толщину стружки, отделяемой ими и, соответственно, одинаковую степень измельчения верхней части обрабатываемого пласта, если параметры монтажа ножей на диске удовлетворяют уравнению (1):

$$\alpha = 2\pi / z - \varphi + \arcsin(\sin\varphi / U) + \lambda(\sqrt{U^2 - \sin^2\varphi} - \cos\varphi), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угловое смещение по диску между ножами 3 и 4;

$z$  – количество ножей на диске, в данном случае  $z=3$ ;

$\varphi$  – угол входа ножей в почву;

$\lambda$  – кинематический режим фрезерования почвы,  $\lambda = (\omega R_1)/V$ ;

$V$  – поступательная скорость фрезы, м/с;

$U$  – соотношение между разновеликими ножами,  $U=R_2/R_1$ .

Нож 3 активно работает в верхней части пласта, но его укороченный радиус  $R_2$  недостаточен для рыхления нижней части, вследствие чего степень измельчения последней уменьшается, что служит предпосылкой не только экономии энергии, но и улучшения качества обработки почвы вследствие минимизации количества мелких эрозионных опасных частиц.

В сравнительных экспериментальных исследованиях по оценке эффективности инновационной фрезы с разновеликими ножами использовали лабораторную установку с фрезерным диском, приводимым во вращение ВОМ трактора. Ось вращения диска горизонтальная и перпендикулярная рабочему перемещению установки.

Исследования выполняли на прямом фрезеровании, когда направление вращения фрезы и движителей трактора совпадает и фреза подталкивает трактор. Энергоёмкость фрезерования  $Q$  оценивали интегральным показателем удельных затрат энергии на единицу объёма измельчаемой почвы (2):

$$Q = (M \omega_1 \eta - PV) / (10^3 FV), \text{ МДж/м}^3, \quad (2)$$

где  $M$  – крутящий момент ВОМ, кН·м;

$\omega_1$  – угловая скорость ВОМ, с<sup>-1</sup>

$\eta$  – к.п.д. передачи мощности от ВОМ к

фрезе,  $\eta = 0,85$ ;

$P$  – подталкивающее усилие фрезы, кН;  
 $F$  – площадь сечения фрезеруемой полосы, м<sup>2</sup>.

Лабораторную установку навешивали на трактор Т-150К. Привод фрезы осуществляли через тензометрический карданный вал, посредством которого на осциллограмму записывали величину крутящего момента  $M$ . Параллельно на осциллограмму записывали поступательную скорость фрезы. Угловая скорость ВОМ  $\omega_1 = 56,5 \text{ с}^{-1}$ . Контролировали её индукционным отметчиком числа оборотов в единицу времени. При этом вал фрезы с приводом через редуктор вращался с угловой скоростью  $\omega = 45,6 \text{ с}^{-1}$ .

В режиме «запись» коробку перемены передач трактора Т-150К включали в положение «нейтрал». Для сообщения поступательной скорости трактор Т-150К буксировали трактором МТЗ-82 через тензометрическое звено, которое фиксировало тяговое сопротивление  $P_1$  определяемое по формуле (3):

$$P_1 = P_2 + P, \text{ кН}, \quad (3)$$

где  $P_2$  – сопротивление перекачиванию трактора Т-150К, кН.

Силу  $P_2$  определяли в отдельном эксперименте буксированием трактора Т-150К при незаглубленной фрезе, когда  $P=0$ . При известных величинах  $P_1$  и  $P_2$  подталкивающее усилие фрезы  $P = P_1 - P_2$ .

Глубину обработки почвы регулировали вертикальным перемещением опорных лыж относительно рамы установки. После рабочего прохода установки глубинометром контролировали фактическую глубину фрезерования почвы.

На полосовой обработке почвы выполняли

сравнительные испытания фрез, оснащённых ножами с прямыми стойками, наклонёнными к плоскости вращения под углом  $\beta = 17^\circ$  (см. рисунок 2). На дисках базового варианта через  $120^\circ$  размещали три ножа с параметрами  $2R_1=420$  и  $2R_3 = 180$  мм. Отличие экспериментальных рабочих органов состояло в размещении на диске разновеликих ножей с параметрами  $2R_1=420$  мм,  $2R_2=375$  мм и  $U=0,89$ . Для обоих вариантов  $2R_3=180$  мм.

Сравнительные испытания проводили на почве влажностью 21 %, твёрдостью 1,6 МПа при изменении двух факторов – глубины обработки в диапазоне  $h = 8...12$  см и поступательной скорости  $V$  от 0,61 до 1,09 м/с.

Результаты сравнительных испытаний представляли в виде математических моделей взаимосвязи варьируемых факторов с энергоёмкостью фрезерования почвы инновационной  $Q_1$  и базовой  $Q_2$  конструкциями, используя методику оптимального планирования многофакторного эксперимента на базе центрального ортогонального композиционного плана.

Для построения стандартной матрицы эксперимента факторы кодировали, то есть переводили натуральные значения их уровней в кодовые безразмерные величины (табл. 1).

После кодирования факторов применительно к каждой из испытываемых конструкций составляли матрицу планирования эксперимента. При двух факторах она содержит ядро в количестве  $2^2 = 4$  опытов (№ 1...4), четыре звёздные точки (№ 5...8) и 1 центральный опыт (№ 9). Итого 9 опытов (табл. 2).

Характер изменения выходной величины в каждом опыте случайный. Поэтому для исключения систематических ошибок их проводили в случайном порядке и повторяли три-

Таблица 1 – Уровни варьируемых факторов

Фактор	Обозначение		Уровни варьирования: кодовые		
	кодовое	натуральное	-1	0	1
			натуральные		
Глубина обработки почвы	$X_1$	$h$	8 см	10 см	12 см
Поступательная скорость перемещения фрезы	$X_2$	$V$	0,61 м/с	0,85 м/с	1,09 м/с

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Уровни варьирования факторов		Энергоёмкость фрезерования почвы, МДж/м <sup>3</sup> :							
	$X_1$	$X_2$	инновационной фрезой				базовой фрезой			
			повторения		среднее $Q_1$	повторения		среднее $Q_2$		
1	1	1	1,75	1,48	1,66	1,63	2,18	1,75	1,98	1,97
2	1	-1	2,43	2,86	2,81	2,7	2,95	3,29	3,12	3,12
3	-1	1	2,51	2,12	2,36	2,33	3,0	2,56	2,78	2,78
4	-1	-1	4,67	3,9	5,05	4,54	4,53	5,67	4,86	5,02
5	1	0	1,51	2,0	2,16	1,89	2,15	2,48	2,09	2,24
6	-1	0	3,1	2,72	2,82	2,88	3,53	3,11	3,26	3,3
7	0	1	1,63	2,1	1,79	1,84	2,48	2,23	2,4	2,37
8	0	-1	3,5	3,11	3,2	3,27	4,01	3,72	3,85	3,86
9	0	0	2,55	2,1	1,95	2,2	2,55	2,98	2,63	2,72

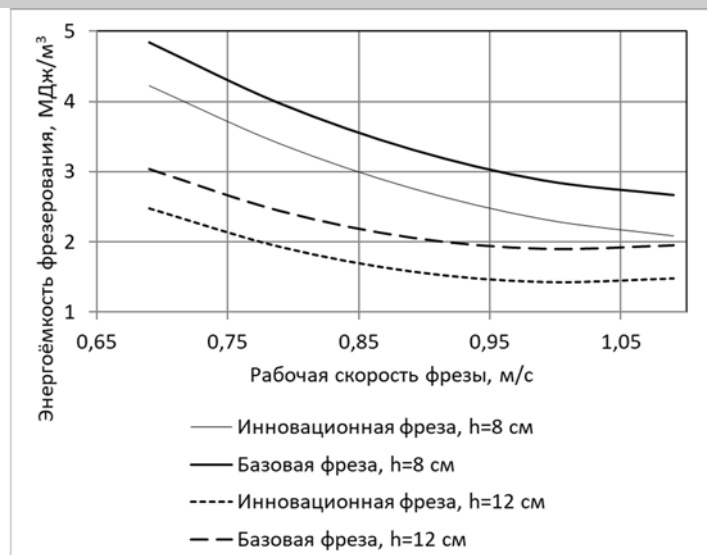


Рисунок 3 – Влияние глубины обработки почвы и поступательной скорости фрезы на энергоёмкость полосового фрезерования почвы

жды. По результатам экспериментальной реализации матрицы были рассчитаны средние значения параллельных опытов по энергоёмкости фрезерования почвы инновационной  $Q_1$  и базовой  $Q_2$  конструкциями.

Статистическую обработку данных эксперимента выполняли в соответствии с известной методикой [19]. Определяли коэффициенты уравнений регрессии и их дисперсии. Статистическую значимость коэффициентов оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента. Воспроизводимость эксперимента устанавливали по критерию Кохрена. Адекватность описания объекта полиномом второй степени производили с использованием  $F$ -критерия Фишера. После исключения незначимых коэффициентов были получены уравнения (4), адекватно описывающие исследуемый процесс в заданных интервалах изменения факторов:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 2,17 - 0,588X_1 - 0,785X_2 + \\ &+ 0,285X_1X_2 + 0,395X_2^2, \text{ Мдж/м}^3; \\ Q_2 &= 2,69 - 0,628X_1 - 0,813X_2 + \\ &+ 0,272X_1X_2 + 0,433X_2^2, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $X_1 = 0,5h - 5$ ;  
 $X_2 = 5V - 4,45$ .

**Анализ и обсуждение результатов исследований.** Из анализа полученных данных вытекает снижение энергоёмкости фрезерования почвы инновационной и базовой конструкциями с увеличением поступательной скорости фрез и увеличением глубины обработки (рисунок 3).

Теоретические предпосылки эффективно-

сти инновационной фрезы подтверждены экспериментально. Её энергоёмкость при минимальных глубине обработки почвы ( $h=8$  см) и поступательной скорости ( $V=0,69$  м/с) снизилась, в сравнении с базовой конструкцией, на 10,6 %. При глубине обработки 12 см и поступательной скорости 1,09 м/с энергетическая эффективность инновационной фрезы возросла до 20,8 %.

В среднем в указанном диапазоне изменения факторов снижение энергоёмкости фрезерования с использованием инновационной конструкции составило 15,8 %. При этом качество рыхления почвы сравниваемыми вариантами фрез было примерно одинаковым.

**Выводы.** Для полосовой обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур по технологии Strip-Till создана инновационная фреза с разновеликими рабочими органами, позволяющая снизить интенсивность измельчения нижней части фрезеруемого пласта. Базовой конструкцией фрезы эта часть пласта излишне измельчается до эрозийных опасных частиц, на что непроизводительно расходуется энергия. Сравнительными испытаниями установлено снижение энергоёмкости полосового фрезерования почвы с использованием инновационных рабочих органов в среднем на 15,8 % при одинаковом качестве рыхления почвы. Это позволяет рекомендовать их включение в состав комплекса почвообрабатывающих и посевных машин для возделывания культур по технологии Strip-Till.

Литература.

1. Soil functions and in situ stress distribution in subtropical soils as affected by land use, vehicle type, tire inflation pressure and plant residue removal / D. Holthusen, J.M. Reichert, A.A. Brandt, et al. // Soil & Tillage Research. 2018. Т. 184. P. 78–92.
2. Long-term effects of crop succession, soil tillage and climate on wheat yield and soil properties / P.S. de Cárcer, S. Sinaj, D. Fossati, et al. // Soil & Tillage Research. 2019. Т. 190. P. 209–219.
3. Гостев А.В., Пыхтин А.И. Выбор адаптивных агротехнологий в цифровом земледелии // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 6. С. 57–61.

4. Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in western Siberia / I. Kühling, D. Trautz, G. Broll, et al. // *Soil & Tillage Research*. 2017. Т. 170. P. 43–52.
5. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview // C. Palm, L. Gatere, H. Blanco-Canqui, et al. // *Agriculture, ecosystems & environment*. 2014. V. 187. P. 87–105.
6. Кирюшин В.И. Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия // *Земледелие*. 2019. № 3. С. 3-7.
7. Long and short term changes in crop yield and soil properties induced by the reduction of soil tillage in a long term experiment in Switzerland / L. Büchi, M. Wendling, C. Amossé, et al. // *Soil & tillage research*. 2017. V. 174. P. 120–129.
8. Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years / B. Di-massi, B. Mary, J. Labreuche, et al. // *Agriculture, ecosystems & environment*. 2014. V. 188. P. 134–146.
9. Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dry land spring wheat yield in Western Siberia / I. Kühling, D. Trautz, G. Broll, et al. // *Soil & tillage research*. 2017. V. 170. P. 43–52.
10. Теоретические основы эффективного применения современных ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур / И. Г. Пыхтин, А. В. Гостев, Л. Б. Нитченко и др. // *Земледелие*. 2016. № 6. С. 16–19.
11. Approaches to model the impact of tillage implements on soil physical and nutrient properties in different agroecosystem models / G.R. Maharjan, F. Ewert, C.M. Mboh, et al. // *Soil & tillage research*. 2018. V. 180. P. 210–221.
12. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Тимофеев В.Н. Соотношение видов сорных растений под влиянием севооборота и систем основной обработки почвы в условиях Северного Зауралья // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 5. С. 35-40.
13. Bajwa A.A. Sustainable weed management in conservation agriculture // *Crop Protection*. 2014. Т. 65. P. 105–113.
14. Chauhan B.S., Singh R.G., Mahajan G. Ecology and management of weeds under conservation agriculture: a review // *Crop Protection*. 2012. Т. 38. P. 57–65.
15. The search for new natural herbicides – strategic approaches for discovering fungal phytotoxins / E.V.V. Varejão, A.J. Demuner, L. C.A. Barbosa, et al. // *Crop Protection*. 2013. Т. 48. P. 41–50.
16. Mitigating arable soil compaction: Are view and analysis of available cost and Benefit data / W.C. Tim Char-men, A.P. Moxey, W. Towers, et al. // *Soil and tillage research*. 2015. Т. 146. P. 10–25.
17. Гуреев И. И. Результаты испытаний комбинированного орудия для посева зерновых культур // *Инновационно-технологические основы развития земледелия: Сб. докладов Всерос. науч.-практ. конф. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2006. С. 98–102.*
18. Гуреев И. И. Перспективная машина для фрезерной обработки почвы // *Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа оптимизации агроландшафтов: Сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2016. С.84–88.*
19. Бородюк В. П., Вошинин А. П., Иванов А. З. Статистические методы в инженерных исследованиях. Лабораторный практикум: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1983. 216 с.

**Сведения об авторе:**

Гуреев Иван Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией адаптивных агротехнологий и средств их механизации, e-mail: gureev06@mail.ru  
Курский федеральный аграрный научный центр, г. Курск, Россия

**IMPROVEMENT OF WORKING UNITS FOR STRIP-TILL TECHNOLOGY**

**Gureev I. I.**

**Abstract.** When cultivating agricultural crops in the system of soil-protective ecologically safe farming, the Strip-Till technology is effective, which allows you to cultivate the soil in strips in the zone of rows and thereby limit the area of the field subject to loosening. The required indicators for loosening the strips in one pass are achieved by the milling tools. Their disadvantage is increased energy consumption. The purpose of the research is to improve the working units of soil-cultivating cutters for strip tillage in the direction of reducing energy consumption. An innovative milling cutter with different-sized knives has been created, which allows, while maintaining a given quality of soil crumbling, reducing the intensity of excessive grinding of the lower part of the milled layer to small erosive hazardous particles. On soil with a moisture content of 21% and a hardness of 1.6 MPa, comparative tests of the innovative and basic cutters were carried out. In the tests, the factors were changed - the depth of processing was in the range of 8-12 cm and the forward speed was from 0.61 to 1.09 m/s. The test results were presented in the form of mathematical models of the relationship of variable factors with the energy intensity of soil milling with innovative and basic structures. In accordance with the method of optimal planning of a multifactorial experiment, a central orthogonal compositional plan was used. An experiment-planning matrix was drawn up for each of the tested structures. With two factors, it contains a core for  $2 \times 2 = 4$  experiments, four star points and one central experiment. By comparing the models, an average reduction of 15.8% in the energy intensity of strip milling of the soil with the use of innovations with the same quality of soil crumbling was established. This allows us to recommend the innovation for use as part of a complex of soil cultivation and seeding machines for cultivation of crops using Strip-Till technology.

**Keywords:** agriculture, tillage, Strip-Till technology, tillage rotor, different-sized knives, energy intensity.

**References**

1. Soil functions and in situ stress distribution in subtropical soils as affected by land use, vehicle type, tire inflation pressure and plant residue removal. / D. Holthusen, J.M. Reichert, A.A. Brandt, et al. // *Soil & Tillage Research*. 2018. Т. 184. P. 78–92.
2. Long-term effects of crop succession, soil tillage and climate on wheat yield and soil properties. / P.S. de Cárcer, S. Sinaj, D. Fossati, et al. // *Soil & Tillage Research*. 2019. Т. 190. P. 209–219.

3. Gostev A.V., Pykhtin A.I. The choice of adaptive agricultural technologies in digital farming. [Vybor adaptivnykh agrotekhnologiy v tsifrovom zemledelii]. // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK. - Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2019. Vol. 33. № 6. P. 57-61.
4. Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in western Siberia / I. Kühling, D. Trautz, G. Broll, et al. // *Soil & Tillage Research*. 2017. T. 170. P. 43-52.
5. Conservation agriculture and ecosystem services: an overview // C. Palm, L. Gatere, H. Blanco-Canqui, et al. / *Agriculture, ecosystems & environment*. 2014. V. 187. P. 87-105.
6. Kiryushin V.I. Actual problems and contradictions in the development of agriculture. [Aktualnye problemy i protivorechiya razvitiya zemledeliya]. // *Zemledelie. – Agriculture*. 2019. № 3. P. 3-7.
7. Long and short term changes in crop yield and soil properties induced by the reduction of soil tillage in a long term experiment in Switzerland / L. Büchi, M. Wendling, C. Amossé, et al. // *Soil & tillage research*. 2017. V. 174. P. 120-129.
8. Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years / B. Dimassi, B. Mary, J. Labreuche, et al. // *Agriculture, ecosystems & environment*. 2014. V. 188. P. 134-146.
9. Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dry land spring wheat yield in Western Siberia / I. Kühling, D. Trautz, G. Broll, et al. // *Soil & tillage research*. 2017. V. 170. P. 43-52.
10. Theoretical foundations of the effective use of modern resource-saving technologies for the cultivation of grain crops. [Teoreticheskie osnovy effektivnogo primeneniya sovremennykh resursoberegayuschikh tekhnologiy vozdevlyvaniya zernovykh kultur]. / I.G. Pykhtin, A.V. Gostev, L.B. Nitchenko and others. // *Zemledelie. – Agriculture*. 2016. № 6. P. 16-19.
11. Approaches to model the impact of tillage implements on soil physical and nutrient properties in different agroecosystem models / G.R. Maharjan, F. Ewert, C.M. Mboh, et al. // *Soil & tillage research*. 2018. V. 180. P. 210-221.
12. Perfilov N.V., Vyushina O.A., Timofeev V.N. The ratio of weed species under the influence of crop rotation and systems of basic tillage in the conditions of the Northern Trans-Urals. [Sootnoshenie vidov sornykh rasteniy pod vliyaniem sevooborota i sistem osnovnoy obrabotki pochvy v usloviyakh Severnogo Zauralya]. // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK. - Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2018. Vol. 32. № 5. P. 35-40.
13. Bajwa A.A. Sustainable weed management in conservation agriculture // *Crop Protection*. 2014. T. 65. P. 105-113.
14. Chauhan B.S., Singh R.G., Mahajan G. Ecology and management of weeds under conservation agriculture: a review // *Crop Protection*. 2012. T. 38. P. 57-65.
15. The search for new natural herbicides – strategic approaches for discovering fungal phytotoxins / E.V.V. Varejão, A.J. Demuner, L. C.A. Barbosa, et al. // *Crop Protection*. 2013. T. 48. P. 41-50.
16. Mitigating arable soil compaction: Are view and analysis of available cost and Benefit data / W.C. Tim Charman, A.P. Moxey, W. Towers, et al. // *Soil and tillage research*. 2015. T. 146. P. 10-25.
17. Gureev I. I. *Rezultaty ispytaniy kombinirovannogo orudiya dlya poseva zernovykh kultur*. // *Innovatsionno-tekhnologicheskie osnovy razvitiya zemledeliya: Sb. dokladov Vseros. nauch.-prakt. konf.* (Test results of a combined tool for sowing grain crops. // *Innovative and technological foundations of agriculture development: The collection of articles of All-Russian scientific-practical conference*). Kursk: VNIIZiZPE, 2006. P. 98-102.
18. Gureev I. I. *Perspektivnaya mashina dlya frezemoy obrabotki pochvy*. // *Adaptivno-landshaftnye sistemy zemledeliya – osnova optimizatsii agrolandshaftov: Sb. dokl. Vseros. nauch.-prakt. konf.* (A promising machine for milling soil processing. // *Adaptive-landscape systems of agriculture - the basis for optimizing agricultural landscapes: The collection of articles of All-Russian scientific-practical conference*). Kursk: VNIIZiZPE, 2016. P. 84-88.
19. Borodyuk V. P., Voschinin A. P., Ivanov A. Z. *Statisticheskie metody v inzhenernykh issledovaniyakh. Laboratornyy praktikum: ucheb. posobie*. (Statistical methods in engineering research. Laboratory workshop: textbook allowance). M.: Vysshaya shkola, 1983. P. 216.

**Authors:**

Gureev Ivan Ivanovich -Doctor of Engineering, Professor, Head of the Laboratory of adaptive agrotechnologies and means of their mechanization, e-mail: gureev06@mail.ru  
Kursk Federal Agrarian Scientific Center, Kursk, Russia