

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КУЛЬТИВАТОРА МОДУЛЬНОГО ТИПА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Лисунов Олег Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и технический сервис в АПК»

Богиня Михаил Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и технический сервис в АПК»

Васильев Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и технический сервис в АПК»

Олейникова Елена Николаевна, главный специалист Управления науки и инноваций ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, тел. 8(391)227-8652, ovp@kgau.ru

Ключевые слова: культиватор, игольчатая борона, трактор, почва, обработка, исследования, агротехнические показатели.

Качество предпосевной обработки почвы оказывает огромное влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур. Исследования проводили в 2022 году на выщелочных черноземах в условиях Сухобузимского района Красноярского края. Цель исследования – определить оптимальные параметры рабочих органов и режимы работы опытного образца комбинированного культиватора модульного типа. Выявлены недостатки поверхностной обработки почвы современными комбинированными культиваторами. В результате конструкторско-технологической работы разработан и изготовлен опытный образец комбинированного культиватора модульного типа для предпосевной обработки почвы, отвечающей агротехническим требованиям к посеву зерновых и мелкосеменных культур. По методике рационального планирования активного многофакторного эксперимента проведены производственные исследования разработанного культиватора с варьированием входных факторов на трех уровнях (скорость агрегата, угол атаки игольчатых дисков, глубина обработки почвы) и двумя выходными параметрами (глыбистость почвы и коэффициент гребнистости). Наилучшие значения по глыбистости получены при глубине обработки 10...12 см, угле атаки 10...15 град. и скорости движения 10...15 км/ч. На коэффициент гребнистости входные параметры влияния не оказали. Для определения энергетических показателей проведены полевые исследования опытного культиватора с использованием информационной измерительной системы ИП-264, позволяющей регистрировать средние показатели тягового усилия на крюке и часового расхода топлива в зависимости от глубины обработки и скорости движения машинно-тракторного агрегата (МТА). Выявлены следующие закономерности: тяговое удельное сопротивление и удельный расход топлива увеличиваются с увеличением глубины обработки и скорости движения, особенно резко возрастая при скорости более 15 км/ч. При работе опытного образца культиватора выполняются необходимые агротехнические требования к сплошной культивации.

Исследования выполнены при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в ходе выполнения проекта «Разработка прицепного культиватора модульного типа для проведения операций предпосевной обработки почвы и обработки паров под сельскохозяйственные культуры»

Введение

Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы, утверждённой постановлением Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 996 [1], поставлена задача «обеспечения стабильного роста производства сельскохозяйственной продукции». Для гарантии продовольственной безопасности страны и ее технической и технологической независимости необходимо внедрение современных инновационных ресурсосберегающих технологий производства сельскохозяйственных культур с использованием отечественной высокопроиз-

водительной сельскохозяйственной техники нового поколения.

Для обеспечения агротехнических требований в зональных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур большое значение приобретают технические средства, особенно комбинированные почвообрабатывающие орудия, выполняющие за один проход несколько технологических операций. Это имеет большое значение в условиях Сибирского региона, когда весенне-полевые работы требуется провести в сжатые сроки.

При предпосевной обработке почвы необходимо добиться равномерной глубины рыхле-

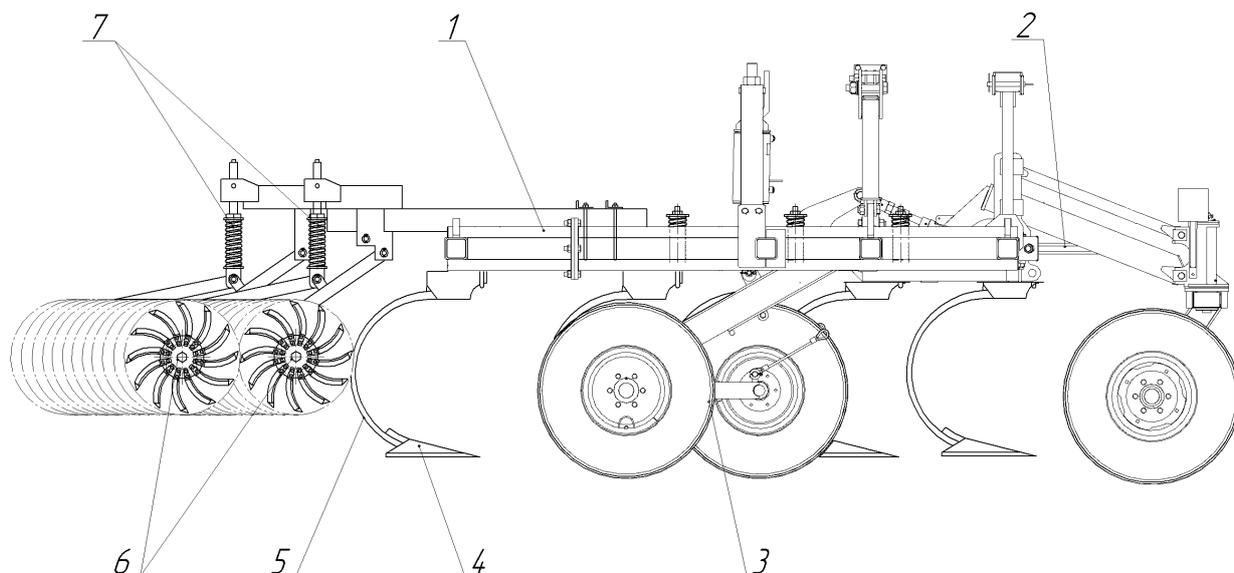


Рис. 1 – Прицепной культиватор модульного типа (обозначения в тексте)

ния, полного уничтожения сорняков, получить оптимальный по структуре механический состав почвы, сохранить накопленную почвенную влагу, обеспечить минимальный вынос влажной почвы на поверхность, создать выровненное и уплотненное семенное ложе.

Материалы и методы исследований

Анализ существующих и разрабатываемых конструктивных и технологических параметров применяемых комбинированных культиваторов показал, что рабочие органы таких культиваторов они не обеспечивают оптимальное воздействие на верхний слой почвы и не отвечают всем агротехническим требованиям в части качественной подготовки почвы к посеву [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Повышение качества процесса поверхностной обработки почвы в ресурсосберегающих технологиях возделывания сельскохозяйственных культур может быть достигнуто путём применения разработанного и изготовленного нами прицепного комбинированного культиватора модульного типа (рис. 1).

Разработанный культиватор состоит из рамы 1, на которую шарнирно установлено прицепное устройство 2 для соединения с трактором, тандемных колёс 3 с гидравлическим устройством для регулировки глубины хода культиваторных лап, пяти рядов универсальных стрельчатых лап 4, закреплённых на С-образных стойках 5 и трех секций двухрядных игольчатых борон 6 с пружинными догружателями 7.

Прицепной культиватор модульного типа работает следующим образом: с помощью гидравлического механизма регулировки тандемными опорными колёсами 3 установ-

ливают глубину обработки почвы (8...14 см), поднимая культиватор на лапах на заданную высоту, и начинают движение. При обработке поверхности почвы во время движения культиватора тандемные колёса 3 копируют рельеф за счет созданного в гидроцилиндрах постоянного давления. Стрельчатые лапы 4 жестко закреплены на С-образных стойках 5, благодаря чему движутся на заданной глубине, подрезая сорную растительность и формируя уплотненное посевное ложе. Секции игольчатых борон 6, работая под углами атаки, производят дополнительное полуактивное рыхление верхнего слоя почвы, крошение комков и глыб, окончательное выравнивание поверхности поля с вычёсыванием сорняков.

По механическому воздействию на почву опытный образец модульного культиватора в отличие от других образцов почвообрабатывающих агрегатов обладает следующими особенностями: высокой степенью копирования рельефа и микрорельефа почвы, повышенной степенью крошения комков и глыб с выравниванием верхнего слоя почвы и вычёсыванием сорняков.

Полевые исследования культиватора модульного типа проводили в 2022 году на опытном поле Учебного хозяйства «Миндерлинское» Сухобузимского района Красноярского края. Машинно-тракторный агрегат был представлен трактором К-744Р2 с установленной на нем информационной измерительной системой ИП-264 и опытным культиватором модульного типа (рис. 2). Исследования проводили в 2 этапа [9]. На первом этапе на горизонтальном участке



Рис. 2 – Элементы измерительной системы:

1 – расходомер топлива; 2 – трактор; 3 – измеритель пройденного пути; 4 – датчик частоты вращения; 5 – опытный культиватор; 6 – тензометрический датчик; 7 – измерительная информационная система ИП-264

определяли потери тягового усилия на перекачивание трактора в режиме холостого хода [10]. На втором этапе выполняли измерения параметров для агротехнической и энергетической оценок поверхностной обработки почвы [11, 12].

Информация с первичных преобразователей поступала в ноутбук и ее обрабатывали с помощью программы «Исследователь». По этой программе можно работать во время проведения опыта, регистрируя средние показатели по аналоговым и температурным каналам с расчётом в реальном режиме времени тягового усилия и часового расхода топлива [12].

Почва на опытном поле представлена среднесуглинистым черноземом выщелоченным со средней мощностью гумусового горизонта. Содержание гумуса в нем варьируется от 6,6 % до 8,9 %. Данные почвы обладают неплохой водопроницаемостью, благодаря чему исключается возможность заплывания поверхности пашни. Реакция почвенного раствора слабокислая. Агрегатное состояние почвы определяли методом сухого просеивания по Саввинову. Влажность обрабатываемого слоя почвы определяли с помощью электровлагомера [13]. Измерения показали, что данный показатель находился в пределах 18...25 %. Результаты иссле-

дований представлены в таблице 1.

Таблица 1
Ведомость определения агрегатного состава почвы

| Слой почвы, см | Содержание фракций, % | | | | Коэффициент структурности |
|----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------------------|
| | крупнее 10 мм | от 1 мм до 3 мм | 0,5 ... 0,25 мм | менее 0,25 мм | |
| 0...5 | 2,9 | 24,75 | 41,51 | 25,77 | 2,31 |
| 5...10 | 5,0 | 27,47 | 37,24 | 21,99 | 2,40 |
| 15...20 | 5,4 | 28,92 | 33,32 | 21,79 | 2,29 |
| 0...20 см | 4,42 | 27,05 | 37,36 | 23,18 | 2,33 |

Почва считается структурной, если в ней содержится более 65 % комочков (агрегатов) и менее 35 % пыли. Если же пылевая фракция составляет больший процент – она плохо оструктурена. При наличии пыли (частиц размером менее 0,25 мм) до 75 % почва называется распыленной, а при содержании таких частиц более 75 % - бесструктурной, сильно распыленной. В итоге структурное состояние почвы было оценено как хорошее.

Твердость почвы определяли с помощью ручного пенетromетра Eijkelkamp 06.01. Исполь-

Таблица 2

Результаты эксперимента по оценке агротехнических параметров работы опытного культиватора

| № опыта | Входные факторы | | | Выходные параметры | |
|---------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|
| | Скорость v , км/ч | Угол атаки α , град. | Глубина обработки h , см | Глыбистость Γ , % | Коэффициент гребнистости K |
| 1 | 9 | 5 | 10 | 0,4 | 1,07 |
| 2 | 9 | 15 | 10 | 1,4 | 1,03 |
| 3 | 15 | 5 | 10 | 0,8 | 1,05 |
| 4 | 15 | 15 | 10 | 1,3 | 1,04 |
| 5 | 9 | 10 | 8 | 0,6 | 1,07 |
| 6 | 9 | 10 | 12 | 0,6 | 1,05 |
| 7 | 15 | 10 | 8 | 2,0 | 1,09 |
| 8 | 15 | 10 | 12 | 0,6 | 1,08 |
| 9 | 12 | 5 | 8 | 1,4 | 1,07 |
| 10 | 12 | 5 | 12 | 0,8 | 1,07 |
| 11 | 12 | 15 | 8 | 2,8 | 1,12 |
| 12 | 12 | 15 | 12 | 1,2 | 1,05 |
| 13 | 12 | 10 | 10 | 1,0 | 1,04 |

зование данного прибора позволяет измерить сопротивление почвы к проникновению в нее специального зонда. Выявлено, что твердость почвы увеличивается с 78,8 кН/м² на глубине 0...5 см до 128,5 кН/м² на глубине 10...15 см. Плотность почвы значительно увеличивается глубине 60...70 см (до 1400...1450 кг/м³) и на глубине 80...90 см (1450...15000 кг/м³). В целом сложившиеся условия исследований вполне соответствуют усредненным показателям чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи.

Результаты исследований

Целью исследования является определение оптимальных параметров рабочих органов и режимов работы изготовленного опытного образца комбинированного культиватора модульного типа, обеспечивающих высокие качественные и энергетические показатели поверхностной обработки почвы.

В ходе исследований был заложен опыт по методике рационального планирования активного многофакторного эксперимента, в котором был применен композиционный симметричный трехуровневый план для трех факторов № 32 [14]. Использование трехуровневых планов второго порядка позволяет описать поверхности отклика уравнением регрессии 2-го порядка. По плану эксперимента были проведены 13 опытов с варьированием входных факторов на трех уровнях:

- фактор X_1 – скорость агрегата v , км/ч;
- фактор X_2 – угол атаки игольчатых дисков α , град;

- фактор X_3 – глубина обработки почвы h , см.

Факторы фиксировали на трех уровнях: ВУ – верхний уровень; СУ – средний уровень; НУ – нижний уровень. Для v (X_1): ВУ – 15 км/ч, СУ – 12 км/ч, НУ – 9 км/ч; для α (X_2): ВУ – 15 град., СУ – 10 град., НУ – 5 град.; для h (X_3): ВУ – 12 см, СУ – 10 см, НУ – 8 см [15, 16]. Выходными параметрами выбраны определяющие качество предпосевной подготовки почвы глыбистость и коэффициент гребнистости. В соответствии с составленным планом были проведены эксперименты, результаты которых отображены в таблице 2.

После обработки результатов опытов были получены уравнения регрессии в кодированных значениях факторов [17]:

$$Y_{\Gamma} = 1 + 0,2125X_1 + 0,4875X_2 - 0,475X_3 - 0,2986X_1^2 + 0,3014X_2^2 + 0,2764X_3^2 - 0,225X_1X_2 - 0,35X_1X_3 - 0,3X_2X_3 \quad (1)$$

$$Y_K = 1,04 + 0,005X_1 - 0,0025X_2 - 0,0125X_3 + 0,01404X_1^2 + 0,01904X_2^2 + 0,04404X_3^2 + 0,0075X_1X_2 + 0,0025X_1X_3 - 0,0175X_2X_3 \quad (2)$$

Адекватность модели второго порядка проверяли с помощью критерия Фишера [18]. В нашем случае расчетные критерии были равны 0,158 для уравнения (1) и 4,71 для уравнения (2), что позволяет сделать вывод об их адекватности. Наилучшие значения по глыбистости получены при глубине обработки 10...12 см, угле атаки 10...15 град. и скорости движения 10...15 км/ч. Входные факторы модели практически не оказывают влияния на коэффициент гребнистости, его значение во всех опытах примерно одинаково.

Исходя из результатов эксперимента по агротехническим показателям, в качестве входных факторов при энергетической оценке были выбраны глубина обработки и скорость движения МТА, а угол атаки игольчатой бороны был зафиксирован на отметке 15 градусов. Тяговое сопротивление на крюке и часовой расход топлива при коэффициенте использования тягового усилия трактора от 0,65 до 0,95 измеряли ИП-264 согласно плану двухфакторного эксперимента, результаты которого представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты эксперимента по оценке энергетических параметров работы опытного культиватора

| Глубина обработки, см | Скорость, км/ч | Тяговое сопротивление | | Расход топлива, кг/ч |
|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------------|----------------------|
| | | $P_{ср}$, кН | $P_{уд}$, кН/м | |
| 8 | 10,82 | 15,44 | 3,86 | 20,29 |
| 8 | 12,78 | 16,34 | 4,09 | 20,77 |
| 8 | 15,71 | 17,37 | 4,34 | 21,07 |
| 8 | 17,27 | 19,76 | 4,94 | 21,84 |
| 10 | 10,21 | 17,10 | 4,26 | 20,37 |
| 10 | 12,39 | 19,35 | 4,84 | 20,68 |
| 10 | 13,8 | 21,03 | 5,26 | 21,49 |
| 10 | 16,48 | 22,59 | 5,65 | 21,96 |
| 12 | 7,68 | 17,12 | 4,28 | 20,62 |
| 12 | 11,86 | 21,85 | 5,46 | 21,50 |
| 12 | 14,54 | 22,69 | 5,67 | 21,63 |
| 12 | 16,04 | 24,91 | 6,48 | 22,53 |

Полученные результаты хорошо согласуются с установленными закономерностями влияния скорости движения на удельное сопротивление рабочих органов культиватора. Согласно теоретическим исследованиям, удельное сопротивление сельскохозяйственных машин, кроме плугов, при выполнении заданной технологической операции находят по формуле [17]:

$$K_{\text{ж}} = K_0 (1 + T_{\text{ж}} (v_P - v_0)), \quad (3)$$

где K_0 – удельное сопротивление рабочих органов сельскохозяйственной машины при скорости движения $v_0 = 5$ км/ч, кН/м; $T_{\text{ж}}$ – коэффициент, характеризующий темп прироста

сопротивления рабочим органам машины на 1 км повышения рабочей скорости от начального значения v_0 ; v_P – скорость движения агрегата, км/ч.

По данным табл. 3 построены графические зависимости удельного сопротивления рабочих органов комбинированного культиватора от скорости движения для разной глубины обработки (рис.3).

Анализ полученных данных показал, что тяговое удельное сопротивление увеличивается с увеличением глубины обработки. Также наблюдается увеличение этого выходного параметра и при повышении скорости движения. Особенно резкое возрастание происходит после 15 км/ч. Такой же характер закономерностей получен и для удельного расхода топлива.

Обсуждение

По результатам экспериментальных исследований с использованием теории планирования эксперимента установлены оптимальные параметры рабочих органов и режимы работы изготовленного опытного образца комбинированного культиватора модульного типа, обеспечивающие минимальное тяговое сопротивление при оптимальной глыбистости и выравнивании поверхности поля: пятирядная установка стрелчатых лап, двухрядная установка игольчатых борон, угол атаки игольчатых борон 15 градусов, рабочая скорость движения 12...15 км/ч, коэффициент использования тягового усилия трактора 0,92.

Достигнуты необходимые для качественного посева при сплошной культивации агротехническое требования: рыхление поверхностного слоя почвы на заданную глубину, измельчение до мелкокомковатого состояния и выравнивание верхнего слоя, образование плотного посевного ложа, полное уничтожение всходов и самих сорняков, улучшение воздушного и водного режимов почвы, препятствующих капиллярному подъему влаги и ее интенсивному испарению.

Заключение

Отличительной особенностью разработанного

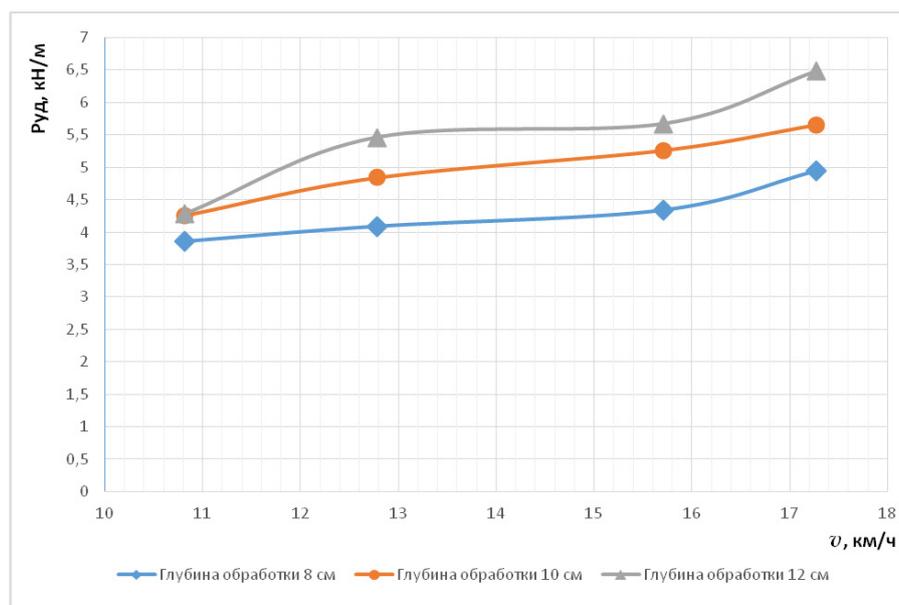


Рис. 3 – Зависимости удельного сопротивления от скорости движения комбинированного культиватора

культиватора модульного типа от комбинированных почвообрабатывающих машин отечественных и зарубежных производителей, с точки зрения механического воздействия на почву, является высокая степень копирования микро-рельефа почвы с повышенной степенью крошения комков и глыб, хорошим выравниванием верхнего слоя почвы и вычёсыванием сорняков.

Анализ проведенного многофакторного полевого эксперимента показал, что наилучшие значения по глыбистости получены при глубине обработки 10...12 см, угле атаки 10...15 град. и скорости движения 10...15 км/ч. Применение культиватора модульного типа для финишного выравнивания почвы с дополнительным дроблением комков и глыб и одновременным выравниванием и уплотнением дна борозды позволяет повысить качество последующего посева.

Библиографический список

1. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы. режим доступа https://www.minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2020/16/Postanovlenie_Pravitelstva_N_996.pdf
2. Лисунов, О.В. Обзор конструкций машин для предпосевной обработки почвы / О.В. Лисунов, М.В. Богиня, А.А. Васильев, Н.М. Богиня // В сборнике: Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России. Материалы II Международной научной конференции. Красноярск, 2022. – С. 25-32.
3. Волков, А.И. Анализ конструктивных особенностей современных почвообрабатывающих агрегатов / А.И. Волков, А.В. Артизанов, М.В. Сивандаев // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2020. – № 22. – С. 548-551.
4. Мельников, Д.Г. Инновационная технология предпосевной обработки почвы с использованием почвообрабатывающего посевного комплекса Р-4,2 / Д. Г. Мельников, А. К. Ерусланов, Ю. А. Царев, Е. Ю. Адамчукова // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 3. – С. 16-20.
5. Ожегов, Н.М. Конкурентоспособная модель комбинированного почвообрабатывающего агрегата / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, Е.А. Криштанов, И.С. Дзибук // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – № 1(29). – С. 18-22.
6. Филиппов А.И., Заяц Э.В., Стуканов С.В., Чеботарев В.П., Пузевич К.Л. Обзор рабочих органов пропашных культиваторов и разработка новых в концепции экологического земледелия // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. № 4. – С. 121-126.
7. Юнусов, Г.С. Обеспеченность растениеводства почвообрабатывающей техникой: состояние и перспективы / Г.С. Юнусов, М.М. Ахмадеева, А.Ф. Жук // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13, № 1 (48). – С. 132–133.
8. Мазур, В.В. Оценка эффективности применения комбинаций рабочих органов культиватора для возделывания кукурузы / В.В. Мазур, // Агроинженерия. – 2022. Т. 24. № 4. – С. 37-41. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-37-41>. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41.
9. Селиванов Н.И. Моделирование параметров трактора и состава почвообрабатывающего агрегата с учетом влияния природно-производственных факторов/ Н.И. Селиванов, В.В. Аверьянов, Д.В. Уштык // Вестник Алтайского ГАУ / Процессы и машины агроинженерных систем / Барнаул – 2021 - №9. – С. 119-126.
10. ГОСТ 30745-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей – Введ. 01.01.2003. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 11 с.
11. ГОСТ 33687-2015 Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. – Введ. 07.01.2017. М.: АО «Кодекс», 2020. - 35 с.
12. ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – Введ. 13.11.2007. – М.: Стандартинформ, 2007. – 11с.
13. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – Введ. 01.01.2013. – М.: Стандартинформ, 2013 – 24 с.
14. Бродский, В.З. Таблицы планов эксперимента / В.З. Бродский, Л.И. Бродский – М.: Металлургия, 1982. – 751 с.
15. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Ю.В. Грановский и др. – М.: Наука, 1976. – 276 с.
16. Лисунов, О.В. Обоснование параметров рабочих органов комбинированного орудия для предпосевной обработки почвы: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Лисунов Олег Васильевич / Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2004. – 232 л.
17. Мельников, С.В. Планирование экс-

перимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алёшин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

18. Хартман, К. Планирование экспери-

мента в исследовании технологических процессов / К.Хартман, Э. Лецкий, В. Шеффер. – М.: Наука, 1977. – 552 с.

STUDY OF PARAMETER INFLUENCE OF THE WORKING BODIES AND OPERATING MODES OF A MODULAR TYPE CULTIVATOR ON QUALITY OF SURFACE SOIL TILLAGE

Lisunov O.V., Boginya M.V., Vasiliev A.A., Oleinikova E.N.
FSBEI HE "Krasnoyarsk State Agrarian University",
660049, Krasnoyarsk, Mira Ave., 90, tel. 8(391)227-8652, ovn@kgau.ru

Keywords: cultivator, soil spiker, tractor, soil, tillage, research, agrotechnical parameters.

The quality of pre-sowing tillage exerts a tremendous impact on formation of crop yields. The studies were carried out in 2022 on leached black soils in the conditions of Sukhobuzimskiy district of the Krasnoyarsk Territory. The aim of the study is to determine the appropriate parameters of the working bodies and operating modes of a prototype of a combined modular cultivator. The drawbacks of the surface tillage by modern combined cultivators are revealed. As a result of the design and technological work, a prototype of a combined modular-type cultivator for pre-sowing tillage that meets the agrotechnical requirements for sowing grain and small-seed crops was developed and manufactured. According to the method of rational planning of active multifactorial experiment, production studies of the developed cultivator were carried out with variability of input factors at three levels (aggregate speed, angle of attack of hoe wheel discs, depth of tillage) and two output parameters (soil lumpiness and ridge coefficient). The best values for lumpiness were obtained at a tillage depth of 10...12 cm, an angle of attack of 10...15 degrees and speed of 10...15 km/h. The input parameters did not affect the ridge coefficient. To determine the energy parameters, field studies of the experimental cultivator were carried out with application of IP-264 information measuring system, which allows to record the average traction force on the hook and hourly fuel consumption depending on cultivation depth and the speed of the machine-tractor unit (MTU). The following regularities were revealed: traction specific resistivity and specific fuel consumption increase with increase of the tillage depth and movement speed, rising sharply at a speed of more than 15 km/h. The necessary agrotechnical requirements for continuous cultivation are met during work of the prototype cultivator.

Bibliography:

1. Federal scientific and technical program for development of agriculture for 2017-2025. - URL: https://www.minobrnauki.gov.ru/common/upload/library/2020/16/Postanovlenie_Government_N_996.pdf
2. Review of machine designs for pre-sowing soil tillage / O. V. Lisunov, M. V. Boginya, A. A. Vasiliev, N. M. Boginya // Resource-saving technologies in the agro-industrial complex of Russia: materials of the II International Scientific Conference. - Krasnoyarsk, 2022. - P. 25-32.
3. Volkov A.I. Analysis of structural features of modern soil-cultivating aggregates / A. I. Volkov, A. V. Artizanov, M. V. Sivandaev // Current issues of improvement of technology of production and processing of agricultural products. - 2020. - № 22. - P. 548-551.
4. Innovative technology of pre-sowing tillage with application of the soil-cultivating sowing complex R-4.2 / D. G. Melnikov, A. K. Eruslanov, Yu. A. Tsarev, E. Yu. Adamchukova // Machinery and equipment for the village. - 2018. - № 3. - P. 16-20.
5. Competitive model of a combined soil tillage unit / N. M. Ozhegov, V. A. Ruzhiev, E. A. Krishtanov, I. S. Dzibuk // Vestnik of the AIC of Stavropol. - 2018. - № 1 (29). - P. 18-22.
6. Review of the working bodies of tillage cultivators and development of new ones in the concept of ecological farming / A. I. Filippov, E. V. Zayats, S. V. Stukanov, V. P. Chebotarev, K. L. Puzevich // Vestnik of the Belarusian State Agricultural academy. - 2020. - № 4. - P. 121-126.
7. Yunusov, G. S. Provision of crop production with tillage equipment: state and prospects / G. S. Yunusov, M. M. Akhmadeeva, A. F. Zhuk // Vestnik of Kazan State Agrarian University. - 2018. - V. 13, № 1 (48). - P. 132-13.
8. Mazur, V. V. Evaluation of the effectiveness of application of combinations of cultivator working bodies for corn cultivation / V. V. Mazur // Agroengineering. - 2022. - V. 24, № 4. - P. 37-41. - URL: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-37-41>. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41.
9. Selivanov, N. I. Modeling of tractor parameters and composition of the soil-cultivating unit, taking into account the influence of natural and production factors / N. I. Selivanov, V. V. Averyanov, D. V. Ushtyk // Vestnik of the Altai State Agrarian University / Processes and machines of agroengineering systems. - 2021. - № 9. - P. 119-126.
10. State Standard GOST 30745-2001. Agricultural tractors. Specification of traction parameters: interstate standard: official edition: approved and put into effect by the Decree of the State Committee of the Russian Federation for standardization and metrology dated May 27, 2002 № 206-st: introduced for the first time: introduction date 2003-01-01 / developed by the Technical Committee for Standardization TK 275 "Tractors". - Moscow: Publishing House of Standards, 2002. - 11 p.
11. State Standard GOST 33687-2015 Machines and tools for surface tillage. Test methods: interstate standard: official edition: approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated July 12, 2016 № 829-st: introduced for the first time: introduction date - 2017-07-01 / developed by Kuban Scientific Research Institute for Testing of Tractors and Agricultural Machines. - Moscow: AO Codex, 2020. - 35 p.
12. State Standard GOST R 52777-2007. Agricultural machinery. Energy assessment methods: national standard of the Russian Federation: official edition: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 13, 2007 № 301-st: introduced for the first time: introduction date 2008-07-01 / developed by Federal State Scientific Institution "Russian Research Institute for Testing of Agricultural Technologies and Machines". - Moscow: Standartinform, 2008. - 11 p.
13. State Standard GOST 20915-2011. Testing of agricultural machinery. Methods for specification of test conditions: international standard: official edition: approved and put into effect by Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of the Russian Federation dated November 29, 2011 № 40: introduced for the first time: introduction date 2013-01-01 / developed by Federal State Scientific Institution "Russian Research Institute for Testing of Agricultural Technologies and Machines". - Moscow: Standartinform, 2013 - 24 p.
14. Brodsky, V. Z. Tables of experimental plans / V. Z. Brodsky, L. I. Brodsky. - Moscow: Metallurgy, 1982. - 751 p.
15. Planning an experiment in search for appropriate conditions / Yu. P. Adler, Yu. V. Granovsky [et al.]. - Moscow: Nauka, 1976. - 276 p.
16. Lisunov, O.V. Substantiation of the parameters of the working bodies of a combined tool for pre-sowing tillage: spec. 05.20.01: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Lisunov Oleg Vasilyevich; Krasnoyarsk State Agrarian University. - Krasnoyarsk, 2004. - 232 p.
17. Melnikov, S.V. Experimental planning in research of agricultural processes. - Leningrad: Kolos, 1980. - 168 p.
18. Hartman, K. Planning an experiment in the study of technological processes / K. Hartman, E. Letsky, V. Sheffer. - Moscow: Nauka, 1977. - 552 p.