

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья
УДК 631.316.272
DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_23

Обоснование конструктивных параметров рабочего органа для рыхления почвы и уничтожения сорных растений в органическом земледелии

Нозим Исмоилович Джабборов¹, Александр Владимирович Добринов^{2✉}

^{1, 2}Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Санкт-Петербург, Россия
²a.v.dobrinov@yandex.ru[✉]

Аннотация. Изучение процессов функционирования почвообрабатывающих агрегатов и оценка эффективности их работы на основе анализа технологических операций поверхностной и мелкой обработки почвы и уничтожения сорной растительности позволяет говорить о том, что применяемые в настоящее время лапы культиваторов имеют ряд недостатков, среди которых можно отметить малую ширину крыла, постоянные углы резания и крошения, недостаточную глубину обработки, невозможность изменения площади ее фронтальной проекции для уменьшения тягового сопротивления. При этом не обеспечивается качественный срез мощной корневой системы многолетних сорных растений, происходит забивание сорными растениями рабочих органов, сохраняется большое количество неподрезанных сорняков на поле. Целью исследований является обоснование рациональных конструктивных параметров рабочего органа обработки почвы на глубину до 15 см и уничтожения сорных растений, имеющих мощную корневую систему, для использования в органическом севообороте. При проведении исследований применялись общеизвестные алгоритмы и методики расчета конструктивных параметров почвообрабатывающих рабочих органов. По результатам проведенных исследований были получены рациональные значения конструктивных параметров рабочего органа: глубина обработки – 5–15 см, ширина захвата крыла – 480 мм, угол крошения долота – 30 град., угол заточки крыла – 20 град., высота стойки – 880 мм, толщина стойки – 25 мм, толщина крыла – 14 мм, ширина в начале и конце крыла – 210/50 мм, радиус кривизны крыла – 500 мм, угол раствора в начале крыла – 30 град. Конструкция рабочего органа представляет собой серпообразную одностороннюю лапу, установленную на стойке через упругий элемент, наличие которого обеспечивает формирование автоколебаний для предотвращения налипания на крыло почвы и растений и улучшения процесса резания растений и рыхления почвы. Использование разработанного рабочего органа повысит качество обработки почвы благодаря полному подрезанию сорной растительности, имеющей мощную корневую систему.

Ключевые слова: обработка почвы, подрезание сорняков, серпообразный рабочий орган, конструктивные параметры, угол резания, вибрация

Для цитирования: Джабборов Н.И., Добринов А.В. Обоснование конструктивных параметров рабочего органа для рыхления почвы и уничтожения сорных растений в органическом земледелии // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 1(72). С. 23–33. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_23–33.

TECHNOLOGIES AND MECHANICAL MEANS
IN AGRICULTURE (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

**Validation of the design parameters of the tillage tool
developed for soil loosening and clean weeding in organic farming**

Nozim I. Jabborov¹, Aleksandr V. Dobrinov^{2✉}

^{1, 2}Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of FSBSI “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Saint Petersburg, Russia
²a.v.dobrinov@yandex.ru[✉]

Abstract. The study of the processes of functioning of soil tillage tools and their performance evaluation on the basis of the analysis of technological operations of surface and fine tillage and clean weeding, suggests that the currently used cultivator blades suffer from certain shortcomings, among which one can note small working width, permanent cutting and pulverization angles, insufficient depth of tillage, the impossibility of changing its frontal projection area to reduce plowing resistance. At the same time, a high-quality cutting of the vigorous root system

of perennial weeds is not provided, the working tools are hindered with weeds roots and stems, and a large number of uncut weeds remain on the field. The purpose of the research is to substantiate rational design parameters of the working tool for tillage to a depth of 15 cm and clean weeding of plants with vigorous root system. The proposed soil tillage tool is designed to be used in organic crop rotation. During research, well-known algorithms and methods for calculating the design parameters of soil-cultivating tillage tools were used. Based on the research findings, the further rational values of the design parameters of the working unit were obtained, namely tillage depth – 5-15 cm; working width – 480 mm; chisel cultivating tine angle – 30 degrees; working sharpening angle – 20 degrees; tine height – 880 mm; tine thickness – 25 mm; working tool thickness – 14 mm; width at the beginning and at the end of the tool – 210/50 mm; the radius of curvature of the tool – 500 mm; nose angle at the beginning of the tool – 30 degrees. The design of the working tool is a crescentic single-sided blade mounted on a tine with the use of an elastic element inducing high-frequency vibrations for preventing adherence of soil and plants to the tool and improving the process of plants cutting and soil loosening. The use of the proposed working tool will improve the quality of tillage due to the complete cutting of weeds with vigorous root system.

Keywords: tillage, weeds cutting, crescentic working tool, design parameters, cutting angle, vibration

For citation: Jabborov N.I., Dobrinov A.V. Validation of the design parameters of the tillage tool developed for soil loosening and clean weeding in organic farming. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(1):23-33. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_23-33.

В ведение

Одним из основных элементов развития современного органического сельскохозяйственного производства является разработка конструкций технических средств, необходимых для реализации новых высокоэффективных энергосберегающих и экологически устойчивых органических технологий в растениеводстве, позволяющих повышать производительность труда и урожайность сельскохозяйственных культур, создавая благоприятные условия для роста растений, снижая затраты и потери в период обработки почвы, посева, внесения удобрений, уборки урожая, обеспечивая требования экологических стандартов безопасности производства органической продукции.

Правила производства механизированных работ в современных биологизированных технологиях предусматривают отказ от использования средств химической защиты растений, в частности гербицидов, и базируются на принципах активного использования севооборотов и агротехнических мероприятий, подразумевающих механическую обработку почвы как одну из экологически безопасных мер борьбы с сорной растительностью. При этом в современном растениеводстве значительная доля затрат энергии, от 35 до 45% в зависимости от возделываемой культуры, идет на подготовку почвы к посеву. При существующем многообразии различных конструкций сельскохозяйственных машин появляется возможность проведения разнообразных технологических работ, при этом они не всегда и не в полной мере отвечают заданным агрономами агротехническим требованиям, предъявляемым при поверхностной обработке почвы, в частности к подрезанию сорной растительности, имеющей мощную корневую систему.

Одним из главных негативных факторов, выявленных на основе анализа технологических операций поверхностной обработки почвы и уничтожения сорной растительности, является то, что применяемые в настоящее время лапы культиваторов и плоскорезные орудия из-за незначительной ширины захвата, постоянных углов резания и крошения, недостаточной глубины обработки из-за малого размера лапы, невозможности изменения площади ее фронтальной проекции (поверхности) для уменьшения тягового сопротивления не обеспечивают качественный срез мощной корневой системы многолетних сорных растений (например, борщевика Сосновского), периодически забиваются сорными растениями, оставляя большое количество неподрезанных сорняков на поле.

Так, в работе [13] была исследована эффективность уничтожения сорной растительности различными рабочими органами почвообрабатывающих орудий для поверхностной обработки почвы. Выявлено, что результативным технологическим приемом

уничтожения сорняков является их подрезание рабочими органами с изменяемой шириной захвата с эффективностью на уровне 92,4%, в то время как типовые стрелчатые и стерневые культиваторные лапы обеспечивают эффективность подрезания лишь на 78,5 и 67,8%.

В исследовании [15] предложены математические модели процесса накопления кинетической энергии и изменения конструктивных параметров динамичных почвообрабатывающих рабочих органов стреловидной формы с шириной захвата 330 мм для поверхностной обработки почвы на глубину до 14 см. В частности, установлено, что в конкретных условиях проведения экспериментов с повышением скоростного режима работы среднее значение ширины захвата рабочего органа колеблется в определенных заданных конструктивными параметрами пределах и является случайной величиной.

В работе [14] представлены результаты экспериментальных исследований рабочих органов для глубокого рыхления почвы, выполненных с определенным радиусом в форме дуги для плавного скольжения и перехода подрезанного пласта почвы от долота к лобовой поверхности стойки и обеспечивающих эффективность технологического процесса рыхления по требованиям агротехники.

Анализ данных работы [7], посвященной описанию криволинейного рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы, показал его энергоэффективность по сравнению с типовым рабочим органом. Установлено, что наибольшее влияние на рост тягового сопротивления оказывает увеличение угла крошения долота.

Усовершенствованный плоскорезущий рабочий орган позволяет уменьшить энергоемкость процесса обработки почвы, сохраняя за собой 80% стерни, что обеспечивает задержание влаги в аридной зоне земледелия [12].

Авторами работы [5] установлено, что величина тягового сопротивления культиваторной лапы зависит от характера взаимодействия лезвия и почвы. Резание со скольжением характеризуется тем, что сила трения достигает максимума, но не в состоянии уравновесить составляющую нормального давления, в связи с чем наблюдается скольжение почвенных частиц вдоль лезвия.

В работе [8] изложены общие закономерности воздействия рабочих органов на почву, в качестве комплексного показателя для расчетов реакции почвы на рабочий орган выбрано удельное сопротивление почвы.

Результаты исследования процесса щелевания [2] показали, что процесс упругой деформации почвы и процесс развития трещины разделены во времени, а сопротивление имеет периодический компонент. Возникающие пульсирующие компоненты напряжений в почве позволяют использовать эффект автоколебаний в конструкциях рабочих органов, что обеспечивает снижение тягового сопротивления и повышение качества обработки.

В исследовании [1] определена зависимость ширины зоны рыхления почвы культиваторной лапой от глубины хода и скорости движения на стерневом фоне после уборки озимой пшеницы. Выявлено, что лапа образует взрыхленную полосу и полосу разброса почвы, ширина которых линейно зависит от глубины обработки, при этом скорость движения не оказывает влияния на ширину зоны рыхления, а зона разброса почвы увеличивается по закону слабо выраженной квадратичной параболы.

В работе [3] изложена принципиальная возможность учитывать изменяющиеся почвенные условия за счет разработки комбинированных почвообрабатывающих рабочих органов с пятью степенями свободы, непрерывным изменением углов атаки и резания почвы и формы рабочего органа.

Е.В. Михайлов с соавт. в разработанной методике обоснования конструктивной схемы стрелчатой лапы для адаптации системы машин к условиям эксплуатации предлагают повышать обтекаемость рабочих поверхностей и режущего периметра, используя методы бионики [4].

Сотрудниками Омского государственного аграрного университета выявлены основные недостатки культиваторов с серийными рабочими органами при работе на почвах, подверженных ветровой эрозии [16]. По результатам проведенных исследований предложена конструкция рабочего органа культиватора, проведены сравнительные лабораторные исследования лап культиватора, обоснована схема нового рабочего органа, отвечающего базовым требованиям почвозащитного, экологически безопасного, ресурсосберегающего земледелия.

Проведенный анализ результатов опубликованных исследований позволяет сделать вывод, что при выборе ключевых конструктивных параметров рабочего органа необходимо прежде всего основываться на требованиях, предъявляемых к качеству и энергоэффективности процесса обработки почвы с целью полного уничтожения сорных растений.

С учетом вышеизложенного целью проведенного исследования являлось обоснование рациональных конструктивных параметров рабочего органа для поверхностной и мелкой обработки почвы и уничтожения многолетних сорняков, имеющих мощную корневую систему в слое почвы до 15 см.

Материалы и методы

При проведении исследований применялись общеизвестные алгоритмы и методики расчета конструктивных параметров почвообрабатывающих рабочих органов.

Эскизы и чертежи рабочего органа созданы с помощью компьютерной программы Компас-3D.

Как показал анализ результатов опубликованных исследований функционирования рабочих органов для обработки почвы, основными параметрами, по которым разрабатывают новые рабочие органы для рыхления почвы и подрезания сорной растительности, являются: ширина захвата, угол крошения, угол раствора крыла, угол заточки крыла, высота стойки [6, 9, 10, 11].

С учетом природно-климатических особенностей Северо-Западного региона России для расчета основных конструктивных параметров рабочего органа для обработки почвы и уничтожения сорных растений были выбраны следующие:

- ширина захвата рабочего органа, мм;
- ширина захвата крыла, мм;
- угол раствора крыла (ев), град.;
- угол крошения почвы, град.;
- ширина лапы в начале и конце крыла, мм;
- толщина крыла, мм;
- угол заострения (угол заточки) лезвия крыла, град.;
- высота стойки рабочего органа, мм.

Результаты и их обсуждение

Ширина захвата крыла лапы, назначение которой состоит прежде всего в подрезании сорняков, будет определяться условиями расстановки лап в зависимости от операции. Как правило, значительная ширина захвата лапы b_{\max} определяется ее жесткостью и прочностными характеристиками и находится в пределах до 400, реже 500 мм для стрелчатых лап и до 200 мм для односторонних лап [11]. Крылья лапы, превышающие указанную ширину (как в нашем случае), могут быть также рассчитаны, но при условии получения необходимой жесткости, иначе при их движении в слое почвы появится неровное дно борозды и снизится эффективность заглабления. Для обеспечения требуемой жесткости следует увеличивать толщину используемого материала, а также учитывать повышенную металлоемкость общей конструкции устройства.

В процессе движения лап со значительной шириной захвата в слое почвы на малой глубине (до 10 см) лезвия их крыльев обволакиваются корнями сорных растений, к тому же происходит частичное налипание земли и, как следствие, лапа выглубляется из почвы. Наименьшая ширина захвата B_{min} большинства типов полольных лап (стрельчатых и односторонних) определяется из условия

$$B_{min} > 3l, \quad (1)$$

где l – величина перекрытия между лапами переднего и заднего рядов [11].

Необходимо также отметить, что при эксплуатации рабочих органов стреловидной формы, имеющих малую ширину захвата лапы, возможно быстрое забивание рабочего органа (и соответственно почвообрабатывающей машины в целом) землей и сорняками из-за большого количества стоек, расположенных между собой на незначительном расстоянии друг от друга.

С учетом имеющихся недостатков применяемых рабочих органов нами предлагается односторонняя подрезающая лапа в виде крыла серповидной формы, которая имеет ширину захвата 480 мм, при этом величина перекрытия между двумя смежными лапами составляет 80–90 мм, что соответствует представленному выражению. Такая ширина захвата должна обеспечить качественную обработку почвы и уничтожение сорняков, а также будет способствовать уменьшению количества стоек рабочих органов в почвообрабатывающей машине.

Угол раствора крыльев полольных лап, обозначаемый в литературе как 2γ , прежде всего зависит от состояния почвы и ее типа. При малом угле раствора лапа в процессе работы оставляет значительное количество неподрезанных сорняков. При этом, если лапа имеет очень большой угол 2γ , ее лезвие чаще будет обволакиваться растительными остатками с налипанием почвы с неизбежностью выглубления.

С целью получения небольших перекрытий необходимо предусматривать при расчетах наибольшие значения угла 2γ с учетом допускаемых условий работы, при которых обеспечивается скользящее резание без обволакивания и залипания лезвия.

Для подрезающих лап, производящих резание сорняков на глубинах 10–12 см и выше, угол 2γ следует увеличить в связи с тем, что при увеличении глубины обработки уменьшается нависание корешков сорных растений на лезвия, при этом в плотных слоях почвы лезвия лучше и значительно быстрее очищаются. Для лап, применяемых на большинстве современных культиваторов, оптимальный угол находится в пределах 60–65°.

Исходя из данного условия и с учетом того, что ширина односторонней серповидной лапы с заданным радиусом R равна 500 мм, закреплена на стойке посредством упругого элемента (демпфера), угол γ от основания крыла до ее конца в состоянии покоя изменяется от 30 до 90°. При обработке почвы в зависимости от сопротивления почвы и размеров корневищ сорных растений угол γ изменяется в меньшую сторону. Значение угла γ , как и тягового сопротивления, имеет случайный характер. Именно непрерывное изменение угла γ обеспечивает лучшее рыхление почвы и подрезание сорных растений путем образования колебаний крыла рабочего органа. Кривизна режущей кромки под радиусом R обеспечивает более эффективное скользящее резание почвы и сорных растений.

Угол крошения, обозначаемый как β , для плоскорезущих рабочих органов выбирают в пределах 15–18°. При этом, если значения углов β лап, работающих на глубине 5–7 см, больше рекомендуемых, происходит смещение почвы и оголение дна борозды. В свою очередь, для универсальных лап значение угла β находится в пределах 28–30° [10, 11]. Для работы в условиях повышенной влажности, что актуально для Северо-Запада России, когда необходимо интенсивное рыхление почвы, угол β следует

увеличивать до 30–32°. Дальнейшее изменение угла β в большую сторону нецелесообразно, иначе при работе лапы происходит образование борозды. На агрегатах, предназначенных для сплошной поверхностной обработки почвы при повышенных скоростях (более 8 км/ч), следует применять лапы с углом β не более 25°. Лапы с большими углами достаточно сильно откидывают почву вверх. Анализ результатов исследований показывает, что для всех почвообрабатывающих рабочих органов оптимальный угол крошения почвы изменяется от 20 до 30°. С учетом описанных требований угол крошения долота стойки рабочего органа выбираем 30°.

Значения ширины b_1 в начале и b_2 в конце крыла лапы рабочего органа для наименьшего смещения почвы выбирают таким образом, чтобы они были наименьшими [10, 11]. При определенном угле β ширина крыла b_1 (исходя из условий прочности) должна составлять 200–210 мм, а ширина b_2 будет определяться исходя из соотношения $b_2 \approx \frac{1}{4}b_1$. Таким образом, ширину крыла b_2 принимаем 50 мм.

Толщину крыла определяют исходя из требований жесткости, а также назначения и ширины захвата лапы. Общепринятым материалом для изготовления полольных лап является сталь 65Г. В настоящее время на рынке металлов появились новые виды сталей шведского производства, которые имеют более высокие прочностные и ударные характеристики, например сталь Hardox® 450, предназначенная для изготовления широкого спектра изделий и конструкций, подвергаемых износу. Дополнительные 50 единиц твердости по Бринеллю (по сравнению с российской маркой 400) наделяют сталь Hardox® 450 повышенным сопротивлением к вмятинам и стойкостью к абразивному истиранию.

Исходя из рекомендаций [11] при ширине захвата плоскорежущей лапы более 300 мм и средней глубине обработки 14–15 см используют металл толщиной 8–10 мм и выше. В нашем случае толщину односторонней режущей лапы принимаем 12–14 мм (лист 14 мм, сталь Hardox® 450).

Высоту H_c стойки, на которой будет закреплена лапа, от опорной поверхности до нижней плоскости рамы вычисляют по формуле

$$H_c = h_1 + h_2 + a, \quad (2)$$

где h_1 – расстояние между поверхностью почвы и нижней плоскостью рамы, мм;

h_2 – наибольшая высота слоя почвы, мм;

a – установленная (максимальная) глубина обработки, мм.

В процессе движения почвообрабатывающего орудия объем почвы и остатков сорной растительности, заключенный в пространстве между поверхностью обрабатываемой почвы и нижней плоскостью рамы, будет оптимальным при расстоянии h_1 , равном 250–300 мм.

Наибольшую высоту обрабатываемого слоя почвы можно рассчитать по формуле

$$h_2 = a/4. \quad (3)$$

С учетом выражений (2) и (3) высота стойки рабочего органа для рыхления почвы находится из уравнения

$$H_c = \frac{4h_1 + 5a}{4}. \quad (4)$$

От угла заточки зависит сопротивление рабочего органа и качество обработки. Угол заточки лапы i выбирают исходя из определенного ранее угла крошения β и в среднем берут в пределах от 15 до 20°. Толщина лезвия после заточки не должна превышать 0,3 мм. В нашем случае резание осуществляется по заданному радиусу кривизны крыла, поэтому заточка лезвия должна быть 20°.

При изготовлении лапы должны иметь обтекаемую форму, не иметь вогнутостей и граней на рабочей поверхности. Места перегиба скругляют радиусом, величину которого определяют на основании уже выбранной толщины металла.

Предварительное расчетное удельное тяговое сопротивление рабочего органа во время весенней обработки поля при влажности 22–25% и скорости движения 5,5–7,5 км/ч будет в пределах 1,6–2,4 кН при глубине обработки 5–10 см и в пределах 2,5–3,0 кН – при глубине обработки 10–15 см.

Схема рабочего органа для обработки почвы и уничтожения сорных растений представлена на рисунке.

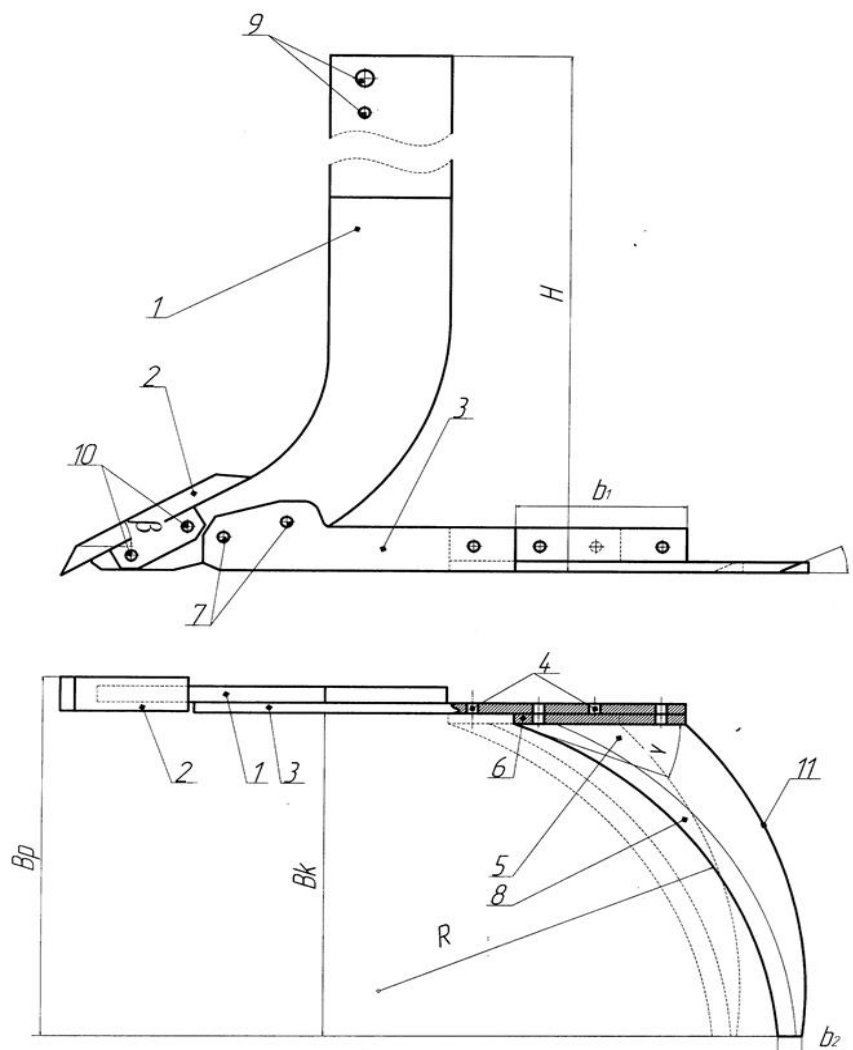


Схема рабочего органа для обработки почвы и уничтожения сорных растений: 1 – стойка; 2 – долото; 3 – упругий элемент (демпфер); 4 – отверстия для крепления крыла к упругому элементу; 5 – крыло; 6 – вертикальная пластина крыла; 7 – отверстия для крепления упругого элемента к стойке; 8 – режущая кромка крыла; 9 – отверстия для крепления стойки к раме агрегата; 10 – отверстия для крепления долота к стойке; 11 – задняя кромка крыла; β – угол крошения рабочего органа; i – угол заточки крыла; γ – угол раствора крыла; R – радиус окружности режущей кромки крыла; H – высота рабочего органа; b_1 – ширина в начале крыла; b_2 – ширина в конце крыла; B_k – ширина захвата крыла; B_p – ширина захвата рабочего органа

На основании изложенного материала была сформирована система конструктивных параметров рабочего органа для обработки почвы и уничтожения сорных растений, которая представлена в таблице.

**Конструктивные параметры рабочего органа для обработки почвы
и уничтожения сорных растений**

Наименование параметра рабочего органа	Единица измерения	Значение
Глубина обработки почвы	см	5–15 см
Ширина захвата рабочего органа B_p	мм	540
Высота стойки H	мм	880
Толщина стойки	мм	25
Угол крошения (долота) β	град.	30
Ширина захвата крыла B_k	мм	480
Толщина крыла	мм	14
Угол раствора в начале крыла γ	град.	30
Угол заточки крыла i	град.	20
Радиус кривизны режущей кромки крыла R	град.	500
Ширина в начале и конце крыла b_1/b_2	мм	210/50
Упругий элемент: длина/ширина/толщина	мм	500/60/14

Рабочий орган представляет собой серпообразную (или серповидную) одностороннюю лапу (крыло), установленную на стойке через упругий элемент (см. рис.).

Лезвие серпообразной односторонней лапы располагается на вогнутой части с фаской, за счет чего корневая система сорных растений легче подрезается с одновременной обработкой почвы на глубину до 15 см.

Форма лапы – криволинейный четырехугольник.

Основная функциональная часть односторонней лапы – лезвие.

Форма сечения – односторонний клин (стамесочный профиль), правый или левый.

При установившемся скоростном режиме работы на заданной глубине происходит рыхление рабочим органом почвы, одновременно с этим режущая кромка 8 крыла 5, установленного на стойке 1 рабочего органа, подрезает корни однолетних и многолетних сорняков, имеющих мощную корневую систему (например, борщевика Сосновского), в слое (пласте) почвы. При этом происходит скользящее резание по всей длине крыла 5, так как величина угла резания не является постоянной и увеличивается к концу крыла 5. Режущей кромкой 8 корни сорных растений за счет минимального угла резания в начале крыла 5, который получается за счет угла $\gamma = 30^\circ$ между пластиной 6 и касательной к режущей кромке 8 крыла 5, вдавливаются в пласт почвы и перерезаются. Часть непере-резанных корней сорняков скользит вдоль режущей кромки 8 крыла 5. При этом режущая кромка крыла 5, выполненная в виде дуги окружности радиуса R , производит окончательное подрезание оставшихся сорняков. Малая толщина полосы крыла 5 усиливает эффективность подрезания. Разрезанные части сорняков и пожнивных остатков сходят с крыла 5 и остаются на поверхности почвы. Кроме этого, наличие упругого элемента 3, установленного на рабочем органе, обеспечивает создание автоколебаний, что препятствует налипанию на крыло 5 почвы и корней сорных растений и, как следствие, улучшает процессы рыхления и резания.

Выполнение четырех отверстий 4 в упругом элементе 3 и двух отверстий в пластине 6 позволяет устанавливать крыло 5 в двух положениях в зависимости от типа почвы.

Выводы

Проведенный анализ различных технологических операций поверхностной и мелкой обработки почвы и уничтожения сорной растительности позволил прийти к выводу, что существующие конструкции рабочих органов не всегда и не в полной мере обеспечивают требуемое качество.

По результатам проведенных исследований обоснованы базовые конструктивные параметры рабочего органа для поверхностной и мелкой обработки почвы и уничтожения сорных растений, имеющих мощную корневую систему в органическом севообороте.

Особенности конструкции рабочего органа заключаются в применении одностороннего крыла серпообразной формы, прикрепленного к стойке посредством упругого элемента, наличие которого обеспечивает появление автоколебаний для предотвращения налипания на крыло почвы и корней растений, а также улучшения процесса подрезания и рыхления. Предложенная форма крыла позволяет исключить возможность скопления несрезанных корней сорняков на конце крыла и обволакивание крыла этими скоплениями.

Таким образом, использование разработанного рабочего органа позволит повысить качество обработки почвы благодаря полному подрезанию и уничтожению сорной растительности, имеющей мощную корневую систему, и рыхлению почвы без ее выноса на поверхность.

Список источников

1. Василенко В.В., Борзило В.С. Зона рыхления почвы культиваторной лапой // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12, № 4. С. 48–52. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52.
2. Зарипова Н.А., Союнов А.С. Основы моделирования процессов взаимодействия элементов рабочего органа щелевателя с почвой // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития, сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО Омский ГАУ (19 апреля 201 г., Омск). Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2018. С. 28–30.
3. Казаков Ю.Ф., Медведев В.И., Иванов В.М. К разработке рабочих органов, приспособляющихся к изменяющимся почвенным условиям // Биологизация земледелия – основа воспроизводства плодородия почвы: сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, академика РАН Леонида Геннадьевича Шашкарова (19–20 апреля 2018 г., Чебоксары). Чебоксары: ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», 2018. С. 294–299.
4. Михайлов Е.В., Волик Б.А., Теслюк Г.В. и др. Методика обоснования конструктивной схемы стрельчатой лапы на основе биологического прототипа // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2019. Т. 3, № 19. С. 37–45. DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-37-45.
5. Никонов М.В. Силовые воздействия на культиваторную лапу в процессе работы и возможности их оценки // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2015. № 3. С. 177–181.
6. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почвы: монография. Киев: Феникс, 2008. 266 с.
7. Пархоменко Г.Г. Параметрическая оптимизация криволинейного рабочего органа для послыйной безотвальной обработки почвы // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 3. С. 12–18.
8. Первушин В.Ф., Салимзянов М.З. Общие закономерности воздействия рабочих органов сельскохозяйственных машин на почву // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 60-летию работы кафедры эксплуатации и ремонта машин агроинженерного факультета, 90-летию доктора химических наук, профессора, заслуженного деятеля науки Удмуртской Республики Григория Андреевича Кораблева и 85-летию кандидата технических наук, профессора, заслуженного работника сельского хозяйства УР, почетного работника высшего профессионального образования РФ Бориса Дмитриевича Зоннова (11–13 декабря 2020 г., Ижевск). Ижевск: Ижевская ГСХА, 2020. С. 216–223.
9. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва: Машиностроение, 1977. 328 с.
10. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 2-х т.; под редакцией инж. А.В. Красниченко. Москва: ГНТИ машиностроительной литературы, 1961. Т. 2. 862 с.
11. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 4-х т.; под редакцией инж. М.И. Клецкина. Москва: Машиностроение, 1967. Т. 2. 2-е изд., перераб. и доп. 830 с.

12. Шевченко О.А., Трубилин Е.И. Совершенствование процесса основной обработки почвы путем модернизации плоскорезающего рабочего органа плуга // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 71-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2015 год (12 апреля 2016 г., Краснодар). Краснодар: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», 2016. С. 248–251.

13. Dobrinov A.V., Trifanov A.V., Chugunov S.V. Analysis and estimate of efficiency technological methods the destruction of Sosnowsky hogweed in the north-west region of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture. Series 3. IOP Publishing Ltd, 2021. Vol. 723(3). P. 032087. DOI: 10.1088/1755-1315/723/3/032087.

14. Dzhaborov N.I., Dobrinov A.V., Eviev V.A. Evaluation of the energy parameters and agrotechnical indicators of aggregate for deep subsurface tillage // Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1210:012036. DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012036.

15. Jabborov N.I., Sergeev A.V., Eviev V.A., Ochirov N.G. Modeling of the accumulation of kinetic energy in elastic elements and change in the constructive parameters of a dynamic soil-processing working part // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2021. Vol. 16(6). Pp. 623–629.

16. Myalo V.V., Myalo O.V., Demchuk E.V., Mazyrov V.V. Basic Parameters Substantiation of the Cultivator Working Body for the Continuous Tillage in the System of Ecologically Safe Resource-Saving Agriculture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions, EST 2018. Institute of Physics Publishing, 2019. Vol. 224. P. 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/224/1/012023/.

References

1. Vasilenko V.V., Borzilo V.S. Zona rykhleniya pochvy kul'tivatornoj lapoj [Zone of soil loosening with cultivator blades]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machines and Technologies*. 2018;12(4):48-52. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52. (In Russ.).

2. Zaripova N.A. Soyunov A.S. Osnovy modelirovaniya protsessov vzaimodejstviya elementov rabocheho organa shchelevatelya s pochvoj [Fundamentals of modeling the processes of interaction between the elements of the working body of the paraplough with the soil]. Nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie APK, sostoyanie i perspektivy razvitiya: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj 100-letiyu FGBOU VO Omskiy GAU [Scientific and technical support of the Agro-Industrial Complex, state and development prospects. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of Omsk State Agrarian University]. Omsk: Omsk State Agrarian University Press; 2018:28-30. (In Russ.).

3. Kazakov Yu.F., Medvedev V.I., Ivanov V.M. K razrabotke rabochikh organov, prisposoblivayushchikhsya k izmenyayushchimsya pochvennym usloviyam [To the development of working bodies adapting to changing soil conditions]. *Biologizatsiya zemledeliya – osnova vosпроизводства plodorodiy pochvy*. Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj 60-letiyu so dnya rozhdeniya doktora sel'skokhozyaystvennykh nauk, professora, akademika RAE Leonida G. Shashkarova [Biologization of agriculture is the basis for the reproduction of soil fertility. Proceedings of the International scientific-practical conference dedicated to the 60th anniversary of Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences Leonid G. Shashkarov]. Cheboksary: Chuvash State Agricultural Academy Press; 2018:294-299. (In Russ.).

4. Mikhailov E.V., Volik B.A., Tesluk G.V., et al. Metodika obosnovaniya konstruktivnoj skhemy strel'chatoj lapy na osnove biologicheskogo prototipa [Method of reasoning the construction scheme of multiple blade on the basis of the biological prototypes]. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету = Proceedings of Tavria State Agrotechnological University*. 2019;3(19):37-45. DOI: 10.31388/2078-0877-19-3-37-45.

5. Nikonov M.V. Silovye vozdeystviya na kul'tivatornyuyu lapu v protsesse raboty i vozmozhnosti ikh otsenki [Power influences on the cultivator's blade in operation and the possibilities of their estimation]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2015;3:177-181. (In Russ.).

6. Panov I.M., Vetokhin V.I. Fizicheskie osnovy mekhaniki pochvy: monografiya [Physical foundations of soil mechanics]. Kyiv: Feniks Press; 2008. 266 p. (In Russ.).

7. Parkhomenko G.G. Parametricheskaya optimizatsiya krivolineynogo rabocheho organa dlya posloynnoj bezotval'noj obrabotki pochvy [Parametric optimization of a curvilinear working element for graded soil-free tillage]. *Traktory i sel'khoz mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 2018;(3):12-18. (In Russ.).

8. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z. Obshchie zakonomernosti vozdeystviya rabochikh organov sel'skokhozyaystvennykh mashin na pochvu [General regularities of the impact of the working bodies of agricultural machines on the soil]. Nauchnoe obespechenie inzhenerno-tekhnicheskoy sistemy APK: problemy i perspektivy. Materialy Natsional'noj nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoj 60-letiyu raboty kafedry ekspluatatsii i remonta mashin agroinzhenernogo fakul'teta, 90-letiyu doktora khimicheskikh nauk, professora, zasluzhennogo deyatelya nauki UR G.A. Korableva i 85-letiyu kandidata tekhnicheskikh nauk, professora, zasluzhennogo rabotnika sel'skogo khozyaystva UR, pochetnogo rabotnika vysshego professional'nogo obrazovaniya RF B.D. Zonova [Scientific support of the engineering and technical system of the Agro-Industrial Complex: prob-

lems and prospects. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference dedicated to the 60th anniversary of the Department of Operation and Repair of Machines of the Agroengineering Faculty, the 90th anniversary of Doctor of Chemical Sciences, Professor, Honored Scientist of the UR G.A. Korablev and the 85th anniversary of Candidate of Engineering Sciences, Professor, Honored Worker of Agriculture of the UR, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation B.D. Zonov]. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy Press; 2020:216-223. (In Russ.).

9. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow: Mashinostroenie Press; 1977. 328 p. (In Russ.).

10. Spravochnik konstruktora sel'skokhozyaystvennykh mashin v dvukh tomakh [Handbook of the designer of agricultural machines in two volumes]. Pod redaktsiej inzh. A.V. Krasnichenko. Moscow: GNTI Machine-building Literature Press; 1961. 862 p. (In Russ.).

11. Spravochnik konstruktora sel'skokhozyaystvennykh mashin v chetyrekh tomakh [Handbook of the designer of agricultural machines in four volumes]. Pod redaktsiej inzh. M.I. Kletskin. Moscow: Mashinostroenie Press; 1967. Vol. 2. 830 p. (In Russ.).

12. Shevchenko O.A., Trubilin E.I. Sovershenstvovanie protsessa osnovnoj obrabotki pochvy putem modernizatsii ploskorezhushchego rabocheho organa pluga [Improving the process of basic tillage by upgrading the subsurface cultivator]. Nauchnye obespechenye agropromyshlennogo kompleksa. Sbornik statej po materialam 71-j nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov po itogam NIR za 2015 god [Scientific support of the Agro-Industrial Complex. Collection of papers of the 71st scientific and practical conference of students on the results of research for 2015]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University Press; 2016:248-251. (In Russ.).

13. Dobrinov A.V., Trifanov A.V., Chugunov S.V. Analysis and estimate of efficiency technological methods the destruction of Sosnowsky hogweed in the north-west region of Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture. Series 3. IOP Publishing Ltd. 2021;723(3):032087. DOI: 10.1088/1755-1315/723/3/032087.

14. Dzhaborov N.I., Dobrinov A.V., Eviev V.A. Evaluation of the energy parameters and agrotechnical indicators of aggregate for deep subsurface tillage. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019:012036. DOI:10.1088/1742-6596/1210/1/012036.

15. Jabborov N.I., Sergeev A.V., Eviev V.A., Ochirov N.G. Modeling of the accumulation of kinetic energy in elastic elements and change in the constructive parameters of a dynamic soil-processing working part. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2021;16(6):623-629.

16. Myalo V.V., Myalo O.V., Demchuk E.V., Mazyrov V.V. Basic Parameters Substantiation of the Cultivator Working Body for the Continuous Tillage in the System of Ecologically Safe Resource-Saving Agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions, EST 2018. Institute of Physics Publishing, 2019. 224:012023. DOI: 10.1088/1755-1315/224/1/012023/.

Информация об авторах

Н.И. Джабборов – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела «Технологии и технические средства производства продукции растениеводства», Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», nozimjon-59@mail.ru.

А.В. Добринов – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела «Технологии и технические средства производства продукции растениеводства», Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», a.v.dobrinov@yandex.ru.

Information about the authors

N.I. Jabborov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Leading Researcher, the Department of Technologies and Technical Means for Crop Products Manufacturing, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of FSBSI “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Saint Petersburg, Russia, nozimjon-59@mail.ru.

A.V. Dobrinov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Senior Researcher, the Department of Technologies and Technical Means for Crop Products Manufacturing, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of FSBSI “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Saint Petersburg, Russia, a.v.dobrinov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 08.12.2021; одобрена после рецензирования 28.01.2022; принята к публикации 04.02.2022.

The article was submitted 08.12.2021; approved after revision 28.01.2022; accepted for publication 04.02.2022.

© Джабборов Н.И., Добринов А.В., 2022