

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630009>

Научный обзор



Систематизация паровых культиваторов

Г.Г. Пархоменко¹, С.И. Камбулов^{1, 2}, Д.С. Подлесный^{1, 2}, В.Б. Рыков^{1, 2},
О.А. Полушкин², И.А. Хозяев²

¹ Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия;

² Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. При воздействии на почву в процессе культивации улучшается влаго- и воздухопроницаемость пласта, благоприятствующие деятельности микроорганизмов и росту и развитию растений. Увеличение производства сельскохозяйственной продукции растениеводства напрямую зависит от уровня техники нового поколения. Поэтому усовершенствование их конструкций с целью повышения уровня техники нового поколения является актуальной задачей агропромышленного комплекса.

Цель работы — систематизация и упорядочивание известных конструкций паровых культиваторов, выявление их достоинств и недостатков.

Материалы и методы. Применялся метод монографического обследования конструкций паровых культиваторов как машины в целом, так и отдельно основных рабочих органов на основании известных научных исследований и результатов государственных испытаний. Таким образом, рассматривались реально работающие паровые культиваторы, рекомендованные к применению в сельскохозяйственном производстве. Помимо этого, анализу подвергались запатентованные конструкции рабочих органов паровых культиваторов. Эффективность функционирования паровых культиваторов определялась на основании результатов государственных испытаний Поволжской, Северо-Западной, Сибирской, Кубанской, Северо-Кавказской, Центрально-Чернозёмной, Кировской, Владимирской МИС за последние 10 лет.

Результаты. В статье представлен обзор паровых культиваторов и их конструкций. Приведена классификация культиваторов по 3 видам: по типу основных рабочих органов (лапы); по типу дополнительных рабочих органов (катки, бороны, штанги); по типу присоединения к трактору (прицепные, навесные). Рассмотрены их достоинства и недостатки. Представлен обзор исследований по усовершенствованию конструкций паровых культиваторов для повышения качества и снижения энергозатрат на обработку почвы. Модернизации подвергаются рабочие органы (лапы), рама в части размещения основных рабочих органов, стойка и конструкция дополнительных рабочих органов паровых культиваторов. Рассмотрены теоретические исследования по повышению эффективности культиваторов. Выявлены условия достижения и улучшения качества обработки почвы паровым культиватором за счет определения взаимосвязи параметров с показателями технологического процесса. Рассмотрено применение компьютерного имитационного моделирования при решении теоретических задач исследования новых рабочих органов, выявлены достоинства и недостатки.

Заключение. Систематизация паровых культиваторов, представленная в данной статье, позволит определить пути дальнейшего их усовершенствования.

Ключевые слова: паровые культиваторы; обработка почвы; лапы культиваторов.

Как цитировать:

Пархоменко Г.Г., Камбулов С.И., Подлесный Д.С., Рыков В.Б., Полушкин О.А., Хозяев И.А. Систематизация паровых культиваторов // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 6. С. 683–694. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630009>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630009>

Review

Systematization of steam cultivators

Galina G. Parkhomenko¹, Sergey I. Kambulov^{1, 2}, Dmitry S. Podlesny^{1, 2}, Viktor B. Rykov^{1, 2},
Oleg A. Polushkin², Igor A. Khozyaev²

¹ "Donskoy" Agricultural Research Center, Zernograd, Russia;

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: When applied to the soil during the cultivation process, the moisture and air permeability of the layer improves, which favors the activity of microorganisms and the growth and development of plants. The increase in the yield of agricultural crop production directly depends on the level of technology of the new generation machinery. Therefore, the improvement of their designs in order to increase the level of technology of the new generation machinery is a relevant task of the agricultural industry.

OBJECTIVE: Systematization and ordering of known designs of steam cultivators, identification of their advantages and disadvantages.

METHODS: The method of monographic examination of the structures of steam cultivators, both the machine as a whole and the main working bodies separately, was used on the basis of well-known scientific studies and the results of state tests. Thus, the really working steam cultivators recommended for use in agricultural production were considered. In addition, the patented designs of the working bodies of steam cultivators were analyzed. The efficiency of steam cultivators was determined based on the results of state tests of the Povolzhsky, Northwestern, Siberian, Kuban, North Caucasian, Central Chernozem, Kirov, Vladimir machinery testing stations over the past 10 years.

RESULTS: The paper contains a review of steam cultivators and their designs. The classification of cultivators by 3 types is given: by the type of main working bodies (paws); by the type of additional working bodies (rollers, harrows, rods); by the type of attachment to the tractor (trailed, mounted). Their advantages and disadvantages are considered. A review of studies on improving the designs of steam cultivators to improve the tillage quality and to reduce energy consumption for tillage is given. The working bodies (paws), the frame parts for mounting the main working bodies, the strut and the design of additional working bodies of steam cultivators are being modernized. Theoretical studies on improving the efficiency of cultivators are considered. The conditions for achieving and improving the tillage quality with a steam cultivator are revealed by determining the relationship of parameters with the indicators of the technological process. The application of computer simulation modeling in solving theoretical problems of study of the new working bodies is considered, advantages and disadvantages are revealed.

CONCLUSIONS: The systematization of steam cultivators presented in this paper is helpful to determine ways to further improvement of them.

Keywords: steam cultivators; tillage; paws of cultivators.

To cite this article:

Parkhomenko GG, Kambulov SI, Podlesny DS, Rykov VB, Polushkin OA, Khozyaev IA. Systematization of steam cultivators. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(6):683–694. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630009>

Received: 05.04.2024

Accepted: 26.01.2025

Published online: 26.01.2025

ВВЕДЕНИЕ

Согласно определению, культивация представляет собой приём сплошной или междурядной обработки почвы, с крошением, рыхлением, частичным перемешиванием и выравниванием, а также подрезанием сорной растительности.

При воздействии на почву в процессе культивации улучшается влаго- и воздухопроницаемость пласта, благоприятствующие деятельности микроорганизмов и росту и развитию растений.

Помимо этого, культивация приводит к ускоренному появлению всходов сорных растений, которые при последующей обработке подрезаются.

Увеличение производства сельскохозяйственной продукции растениеводства напрямую зависит от уровня техники нового поколения. Высокий уровень техники нового поколения характеризуется высокой производительностью агрегата при выполнении агротехнических требований, предъявляемых к конкретному приёму обработки почвы.

Основными требованиями к проведению такого приёма обработки почвы, как культивация являются следующие: рыхление почвы без оборота пласта; полное подрезание сорной растительности; обеспечение мелкокомковатой структуры обрабатываемого слоя; равномерность глубины рыхления, соблюдение перекрытия между смежными проходами крайних рабочих органов; не допускается вынос нижнего влажного слоя на поверхность поля.

Паровые культиваторы, как правило, выполняют также и сплошную предпосевную обработку почвы в соответствии с актуальными на сегодняшний день тенденциями в области машиностроения в части разработки унифицированных конструкций и универсализации.

Таким образом, после прохода парового культиватора поверхность поля должна быть выровненной, с полностью подрезанной сорной растительностью, мелкокомковатой структуры почвы с уплотнением подповерхностного слоя, которое достигается прикатыванием.

Цель работы — упорядочивание известных конструкций, выявление их достоинств и недостатков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Применялся метод монографического обследования конструкций паровых культиваторов как машины в целом, так и отдельно основных рабочих органов на основании известных научных исследований и результатов государственных испытаний. Таким образом, рассматривались реально работающие паровые культиваторы, рекомендованные к применению в с/х производстве. Помимо этого, анализу подвергались запатентованные конструкции рабочих органов паровых культиваторов.

Рассмотрены и проанализированы следующие паровые культиваторы: КППУ-8, семейство КСОП

(КСОП-4, КСОП-5, КСОП-6Н, КСОП-12), КД-720М, семейство К-720МК и К-12000МК, семейство КСУ «Алтай» (КСУ-11, КСУ-15), КПШ-9, семейство ПОЛЯРИС (ПОЛЯРИС-4, ПОЛЯРИС-4СК, ПОЛЯРИС-8,5СК, ПОЛЯРИС-8,5, ПОЛЯРИС-12, ПОЛЯРИС-12Н), семейство КПП (КПП-6, КПП-8, КПП-9, КПП-12, КПП-12В, КПП-14,5), КШУ-12М, КДК-4, семейство КБМ (КБМ-4,2НУ, КБМ-4,2НУС, КБМ-8П, КБМ-10,8П, КБМ-11ПСВ, КБМ 12-4К1, КБМ-14,4ПС), Комби 3, семейство КПК (КПК-12, КПК-4S, КПК-8С), семейство КПС (КПС-4У, КПС-5У, КСП-6-01), КП-12С, КП-12А, КП-15А, КПУ-6, КПШ-7,2, КНК-7,2-01, КШУ-12Н, семейство КПМ (КПМ-8У, КПМ-10, КПМ-12, КПМ-14), КМП-14 «Антарес», КПО-13С, КСК-12, КМ КПК-12, семейство КС (КС-8, КС-8М, КС-10, КС-12), семейство КБП (КБП 12-4 К1, КБП 8-4 К1), семейство культиваторов «Степняк» («Степняк-5,6», «Степняк-7,4» «Степняк-10» и др.), КПЭ-3,8, семейство TILLERMASTER (TILLERMASTER-14000, TILLERMASTER-16000), JOHN DEERE 2210LL, KRISTALL 9/600K, CHALLENGER CH 5730, SALFORD модели 580-40, CULTIMER L 4000, KUHN 5635, KORUND 8/750, VARIO 400, KRAUSE 5635-34, VERSATILE C600, Top Down TD700, RUMPTSTAD ZBC и др.

Эффективность функционирования паровых культиваторов определялась на основании результатов государственных испытаний Поволжской, Северо-Западной, Сибирской, Кубанской, Северо-Кавказской, Центрально-Чернозёмной, Кировской, Владимирской МИС за последние 10 лет [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время применяется ряд паровых культиваторов различных конструкций [4, 5].

В общем случае паровые культиваторы состоят из дышла для присоединения к трактору, рамы для крепления рабочих органов, гидросистемы, опорных и транспортных колёс.

Паровые культиваторы можно классифицировать по 3 следующим видам:

- по типу основных рабочих органов (лапы);
- по типу дополнительных рабочих органов (катки, бороны, штанги);
- по типу присоединения к трактору (прицепные, навесные).

Авторами [6] установлено, что навесное соединение парового культиватора с трактором по сравнению с прицепным позволяет повысить значение коэффициента рабочих ходов агрегата в среднем на 8,5%, что оказывает положительное влияние на производительность.

Отмечается, что из недостатков конструкции паровых культиваторов в части увеличенного расстояния между опорным колесом и рабочими органами ухудшается качество обработки почвы, в частности, равномерность по глубине хода [7]. Разрабатываются конструкции, обеспечивающие устойчивость работы парового культиватора

без опорных колёс [8]. При этом навесные паровые культиваторы обладают меньшей продольной устойчивостью при транспортировании [9].

Рама парового культиватора может быть универсальной шарнирно-секционной [10, 11], длина которой определяется по заданному соотношению в соответствии с требуемой мощностью трактора. При этом для выполнения агротехнических требований по равномерности глубины рыхления паровые культиваторы должны иметь определённые размеры [12]. Равномерность глубины обработки почвы регулируется посредством установки высоты опорного колеса относительно рамы парового культиватора.

Зарубежные конструкции культиваторов могут быть не вполне пригодными к почвенно-климатическим условиям юга России, особенно в засушливые годы, когда твёрдость почвы значительно превышает норму, а запасы влаги внутри пласта столь ничтожны, что при выносе их на поверхность поля при рыхлении мгновенно приведут к испарению.

Анализ работ [13–18] показал, что увеличение ширины захвата паровых культиваторов с 4 до 16 метров приводит к резкому росту массы (в 8 раз), что оказывает непосредственное влияние на рост стоимостных показателей и может вызвать превышающее норму давление на почву, что недопустимо.

К основным рабочим органам парового культиватора относятся лапы. В зависимости от засорённости поля и физико-механических свойств почвы паровой культиватор комплектуется лапами, содержащими ножевидные (режущие), долотовидные и копьевидные (рыхлящие) элементы.

Ножевидные элементы рабочего органа парового культиватора позволяют срезать сорные растения и рыхлить почву. Долотовидные и копьевидные элементы на рабочих органах парового культиватора применяются при малой засорённости поля для разуплотнения почвы.

Для разрушения корки на поверхности поля нередко основными рабочими органами парового культиватора служат ротационные рабочие органы в виде дисков. Однако дисковые рабочие органы могут чрезмерно распылять почву в засушливых условиях, что приводит к усилению эрозионных процессов.

Таким образом, основные рабочие органы парового культиватора могут быть режущими, рыхлящими и универсальными в зависимости от технологического результата.

Режущие рабочие органы парового культиватора в основном нацелены на уничтожение сорной растительности путём её подрезания, функционируют по принципу скользящего резания, т.е. длительного контакта с поверхностью лапы, поэтому выполняются в виде плоскореза (одностороннего или двухстороннего). Исходя из этого, двухсторонний плоскорез парового культиватора имеет угол раствора от 60–70° до 90°. Плоскорез характеризуется малым углом крошения (до 18°) и поэтому не вполне пригоден для разуплотнения почвы при обработке пара [19–23].

Для разуплотнения используют рыхлящие рабочие органы парового культиватора. Рыхлящие рабочие органы парового культиватора могут быть долотообразными или копьевидными, односторонними или оборотными.

Универсальные рабочие органы используют для одновременного подрезания сорной растительности с рыхлением и разуплотнением верхнего слоя почвы. Универсальные рабочие органы парового культиватора характеризуются большим по сравнению с плоскорезом углом крошения (до 30°).

К универсальным рабочим органам парового культиватора относят стрельчатые лапы [24].

Для копирования поверхности поля стойка стрельчатой лапы шарнирно соединена со скобой пружины натяжителя. Однако наличие в конструкции цилиндрических пружин натяжителя увеличивает массу культиватора на 60 кг и более [25].

Поэтому усовершенствование конструкций паровых культиваторов для повышения качества и снижения энергозатрат на обработку почвы невозможно только в части основных рабочих органов. Усовершенствуются также рама [26, 27], стойка [28] и конструкция дополнительных рабочих органов паровых культиваторов [29–32].

Следует отметить, что у лаповых рабочих органов парового культиватора зарубежных производителей присоединение к стойке осуществлено с учётом сдвиговых деформаций рабочего органа в поперечном направлении [33–35].

Отмечается ряд недостатков рабочих органов парового культиватора [36–38]. Так при использовании стрельчатых лап отмечается большая неравномерность по глубине хода рабочих органов парового культиватора [37], вынос влажных слоёв на поверхность поля [38], залипание [39], образование гребней и борозд [40–42].

В работе [43] предложено усовершенствование конструкций существующих рабочих органов парового культиватора.

Авторами [44] разработана конструкция культиватора с виброударным механизмом, в том числе путём придания упругости [45] для снижения сопротивления почвы при взаимодействии с рабочим органом. Разработан рабочий орган парового культиватора с упругим элементом в виде двух пружин сжатия [46]. Применение колебаний [47] путём установки упругого элемента [16] в конструкцию культиватора с односторонними плоскорезными лапами для улучшения качества обработки почвы в части равномерности по глубине рыхления нашло отражение в работе авторов [48].

В части усовершенствования конструкции стрельчатых лап парового культиватора заметна тенденция повышения эксплуатационной надёжности, в том числе путём упрочнения, на основании параметрической оптимизации [48–51].

Разработана стрельчатая лапа со ступенчато-переменным лемехом, позволяющая снизить затраты энергии на обработку почвы паровых полей [52].

Для снижения сопротивления почвы применяется также криволинейная форма рабочего органа культиватора [53]. Авторами предлагается конструкция стрельчатых лап парового культиватора по гидродинамической аналогии на основании биоформ, перемещающихся в плотных средах [54]. Частным случаем применения криволинейной формы в конструкциях является серповидный рабочий орган [35] парового культиватора.

Стрельчатые лапы, конструкция которых описана в работах [55, 56], также выполнены по криволинейной форме. При этом режущая кромка стрельчатой лапы [55] имеет зубчатую форму, как и у рабочего органа, имеющего различные углы раствора, чем предотвращается обволакивание лезвия сорными растениями [57].

Представленная в работе [58] конструкция стрельчатой лапы за счёт зубчатой поверхности режущей кромки способствует менее энергоёмкому и более качественному крошению почвы за счёт знакопеременных деформаций, обусловленных двояковыпуклой кривизной [59] поверхности рабочего органа.

Криволинейными элементами оснащена конструкция стрельчатой лапы [60].

В целях обеспечения выровненной поверхности поля после прохода стрельчатой лапы авторы [61] доработали её конструкцию, установив дополнительные элементы на крыльях. При этом после прохода усовершенствованной стрельчатой лапы не остаётся борозды от стойки, и почва распределяется равномерно.

Размещение на плоской стойке вертикального ножевидного элемента приводит к снижению залипания и забивания рабочего органа почвой [62].

Для препятствия выноса влаги, содержащейся внутри пласта на поверхность поля стрельчатая лапа парового культиватора [63, 64] снабжена планкой с наральниками, установленной сзади рабочего органа на глубине рыхления с возможностью копирования рельефа и уплотнения нижних слоёв почвы. В качестве дополнительных элементов для улучшения качества крошения почвы и степени подрезания сорной растительности стрельчатых лап парового культиватора может также использоваться дисковый нож, присоединённый спереди к стойке [65, 66].

Для удаления срезанной сорной растительности с поверхности рабочего органа парового культиватора используют в конструкции дополнительные элементы [67] в виде прутков, установленных непосредственно на торцах лапы или изгибают по аналогичной конфигурации конец крыла [68].

На улучшение степени подрезания сорной растительности направлено конструктивное решение авторов [69].

Авторами [70] предложена конструкция усовершенствованной стрельчатой лапы с переменным углом крошения и с трансформированной режущей кромкой, применение которой способствует снижению тягового сопротивления парового культиватора до 7% и существенное улучшение качества крошения.

По мнению авторов [71], рабочий орган парового культиватора должен быть сборным, при этом по форме приближаться к стрельчатой лапе. При этом рабочий орган должен быть трансформируемым, использоваться как режущий, рыхлительный или универсальный в зависимости от степени засорённости поля и твёрдости почвы.

Совершенствование основных рабочих органов парового культиватора может осуществляться путём коренной модернизации конструкции, полного отказа от стрельчатых лап. Так рабочий орган [72] содержит лево- и праворежущие односторонние плоскорезы, закреплённые на стойке, смещённые один от другого в продольном направлении. Такая конструкция рабочего органа обеспечивает полное подрезание сорной растительности на паровом поле [73].

Известные исследования по паровым культиваторам можно классифицировать по трём основным целям:

- повышение эксплуатационной надёжности рабочих органов;
- снижение энергоёмкости;
- улучшение качественных показателей технологического процесса обработки почвы паровым культиватором.

Первая совокупность задач объединена целью повышения эксплуатационной надёжности рабочих органов парового культиватора. Данная цель реализуется путём обоснования упрочняющих режимов и параметров, выбору материалов для изготовления рабочих органов паровых культиваторов.

Известны исследования, на основании которых обоснованы режимы термоупрочняющего воздействия и разработана конструкция с самозатачивающейся в процессе износа режущей кромкой лезвия рабочего органа [74].

Теоретические задачи исследования новых рабочих органов часто решаются посредством компьютерного имитационного моделирования.

При компьютерном моделировании используются различные методы: дискретных и конечных элементов, гидродинамической аналогии [75–80].

В работе [81] представлены результаты моделирования рабочего органа культиватора, изготовленного из альтернативных материалов (стелопластика), в результате которых установлено иное протекание процесса взаимодействия с почвой. Установлено, что рабочий орган культиватора, изготовленный из стеклопластика, выдерживает нагрузку в 10 раз больше, чем стальной при равной прочности [81, 82].

Компьютерное имитационное моделирование вышеперечисленными методами имеет основной недостаток, заключающийся в отличие свойств обрабатываемой среды от реальных данных [75].

Исследование авторов [83] направлено на повышение ресурса режущих кромок рабочих органов культиваторов и выравнивания для одновременного износа всей

конструкции. Получены аналитические зависимости параметров рабочего органа культиватора с равномерным износом.

Вторым целевым направлением исследований по паровым культиваторам, согласно принятой классификации (см. рис. 1), является снижение энергоёмкости рабочих органов. Исследования по данному направлению в основном сводятся к параметрической оптимизации рабочих органов по критерию наименьшего тягового сопротивления при условии рациональной загрузки энергосредства.

Так в результате параметрической оптимизации рабочего органа культиватора тяговое сопротивление усовершенствованной лапы уменьшилось на 9,5%, а качество крошения почва возросло на 10,7% [41].

Тяговое сопротивление рабочих органов теоретически определяется с помощью зависимостей Горячкина и Грандвуане-Горячкина [84], а его составляющие на основе теории дислокаций [85].

Для наиболее достоверного результата моделирования рабочего органа парового культиватора необходимо рассматривать процесс в динамике [86] в наиболее напряжённых условиях.

К таким условиям относится заглубление рабочего органа парового культиватора на требуемую глубину. При этом рассматривается переходный процесс заглубления и непосредственно устойчивость хода по глубине обработки почвы паровым культиватором.

Задача устойчивости рабочих органов определялась путём анализа дифференциального уравнения движения агрегата с использованием уравнением Лагранжа второго рода [87].

Зависимости, характеризующие переходный процесс заглубления рабочих органов культиватора приведены в работе [88–90].

Устойчивость хода рабочих органов по глубине представляет собой один из важнейших качественных показателей технологического процесса обработки почвы паровым культиватором.

Повышение устойчивости хода по глубине входит в совокупность задач следующего целевого направления исследований (рис. 1), заключающегося в улучшение качественных показателей технологического процесса обработки почвы паровым культиватором.

При разработке конструкции нового рабочего органа необходимым условием достижения и улучшения качества обработки почвы паровым культиватором является определение взаимосвязи параметров с показателями технологического процесса.

Так авторами [48] получены зависимости степени подрезания сорной растительности от параметров рабочего органа при работе на глубину до 5 см.

Взаимосвязь степени подрезания сорной растительности с углом раствора рабочего органа культиватора при отсутствии забивания и обволакивания срезанной массой представлена в работе [91].

Увеличение степени подрезания сорной растительности возможно при обеспечении условия скользящего резания, которое достигается при оптимизации углов рабочего органа [92].

Другим немаловажным качественным показателем технологического процесса обработки почвы паровым культиватором является качество крошения пласта. Авторами [93] получены выражения для определения взаимосвязи угла установки стрелчатой лапы к дну борозды и размером получаемых в результате обработки почвы фракции, которые характеризуют качество крошения. Параметры рабочего органа связаны с качеством рыхления в работе авторов [94].

Авторами проанализирован процесс деформации почвы стрелчатой лапой [95]. Отмечается существенное влияние стойки на процесс рыхления почвы наряду с лапой. Напряженно-деформированное состояние стойки рабочего органа культиватора представлено в работах [96–99].

ВЫВОДЫ

1. В общем случае паровые культиваторы состоят из дышла для присоединения к трактору, рамы для крепления рабочих органов, гидросистемы, опорных и транспортных колёс.
2. Паровые культиваторы можно классифицировать по 3 видам: по типу основных рабочих органов (лапы); по типу дополнительных рабочих органов (катки, бороны, штанги); по типу присоединения к трактору (прицепные, навесные).
3. Навесное соединение парового культиватора с трактором по сравнению с прицепным позволяет повысить производительность агрегата.
4. Недостатком дисковых культиваторов является низкое качество подрезания сорной растительности при высокой засорённости поля, обусловленное отсутствием лаповых рабочих органов. Помимо этого, они не предназначены для работы в условиях высокой вероятности проявления эрозионных процессов и недостаточном увлажнении, в связи с повышенным распылением почвы дисковыми рабочими органами.
5. Универсальные конструкции, способные выполнять предпосевную обработку полей и уход за парами, как правило, наиболее качественно функционируют только на глубине 11–12 см, поэтому не вполне пригодны для борьбы с высокой засорённостью полей, поскольку не подрезают сорную растительность в верхнем слое почвы.
6. Зарубежные конструкции культиваторов могут быть не вполне пригодными к почвенно-климатическим условиям юга России, особенно в засушливые годы, когда твёрдость почвы значительно превышает норму, а запасы влаги внутри пласта столь ничтожны, что при выносе их на поверхность поля при рыхлении мгновенно приведут к испарению.

7. Увеличение ширины захвата паровых культиваторов с 4 до 16 метров приводит к резкому росту массы (в 8 раз), что оказывает непосредственное влияние на рост стоимостных показателей и может вызвать превышающее норму давление на почву, что недопустимо.
8. Рабочие органы парового культиватора в основном нацелены на уничтожение сорной растительности путём её подрезания, функционируют по принципу скользящего резания. Плоскорез характеризуется малым углом крошения и поэтому не вполне пригоден для разуплотнения почвы при обработке пара.
9. Усовершенствование конструкций паровых культиваторов для повышения качества и снижения энергозатрат на обработку почвы осуществляется не только в части основных рабочих органов (лап). Усовершенствованию подлежат также рама в части размещения основных рабочих органов, стойка и конструкция дополнительных рабочих органов паровых культиваторов.
10. При использовании стрельчатых лап отмечается большая неравномерность по глубине хода рабочих органов парового культиватора, вынос влажных слоёв на поверхность поля, залипание, образование гребней и борозд.
11. Рабочий орган парового культиватора должен быть сборным и трансформируемым, использоваться как режущий, рыхлительный или универсальный в зависимости от степени засорённости поля и твёрдости почвы.
12. Совершенствование основных рабочих органов парового культиватора может осуществляться путём коренной модернизации конструкции, полного отказа от стрельчатых лап.
13. Известные исследования по паровым культиваторам можно классифицировать по трём основным целям: повышение эксплуатационной надёжности рабочих органов; снижение энергоёмкости; улучшение качественных показателей технологического процесса обработки почвы.
14. Повышение эксплуатационной надёжности реализуется путём обоснования упрочняющих режимов и параметров, выбору материалов для изготовления рабочих органов паровых культиваторов.
15. Тяговое сопротивление рабочих органов теоретически определяется с помощью зависимостей Горячкина и Грандвуане-Горячкина, а его составляющие на основе теории дислокаций.
16. При разработке конструкции нового рабочего органа необходимым условием достижения и улучшения качества обработки почвы паровым культиватором является определение взаимосвязи параметров с показателями технологического процесса.
17. Теоретические задачи исследования новых рабочих органов часто решаются посредством

компьютерного имитационного моделирования. Компьютерное имитационное моделирование имеет основной недостаток, заключающийся в том, что свойства обрабатываемой среды, представленной пластической почвой Бингхэма и по модифицированной модели Друкера-Прагера, не совпадают с реальными.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Г.Г. Пархоменко — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; С.И. Камбулов — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; Д.С. Подлесный — обзор литературы, подготовка и написание текста статьи; В.Б. Рыков — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, О.А. Полушкин — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников; И.А. Хозяев — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE*. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. G.G. Parkhomenko — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of the manuscript; S.I. Kambulov — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text of the manuscript; D.S. Podlesny — literature review, preparation and writing of the text of the manuscript;; V.B. Rykov — literature review, collection and analysis of literary sources, O.A. Polushkin — literature review, collection and analysis of literary sources; I.A. Khozyaev — literature review, collection and analysis of literary sources. The authors confirm the compliance of their authorship with the international *ICMJE* criteria. All the authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. The authors declare that they received no external funding for this study.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Lachuga Y, Akhalaya B, Shogenov Y, et al. Combined Unit with Automated Adjustment of the Grip Width of the Cultivator Paw. In: *Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham: Springer; 2023;509:1461–1466. doi: 10.1007/978-3-031-11058-0_147
2. Lachuga Y, Akhalaya B, Shogenov Y, et al. Tillage Device of Precision Processing with Pulsed Blows of Compressed Air. In: *Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS)*. Cham: Springer; 2023;510:1897–1904 (2023). doi: 10.1007/978-3-031-11051-1_195
3. Results of agricultural machinery testing on MIS. Official website of the Federal State Budgetary Institution "State Testing Center" Electronic resource. Access mode: <http://www.sistemamis.ru/protocols/> (date of access 04/07/2023)
4. Polokhin AM, Shmanev ND, Annenkov DA. Modern agricultural machines. VEMZ KPP-8V and kormmash KPS-4-3R. In: *Resource Saving Technologies at Storage and Processing of Agricultural Production: materials of the XIV International Scientific and Practical seminar, Orel, June 28–29, 2018*. Orel: Cartouche; 2018:220–223. (In Russ.)
5. Priporov EV. Technological, energy and economic indicators of the universal steam cultivator. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2020;3(83):198–201. (In Russ.) doi: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-198-202
6. Kaimakova AS, Gorbatyuk AP, Safarov RR, et al. Assessment of the effect of the method of connecting a wide-reach cultivator and tractor on the kinematics of the unit. *Active ambitious intellectual youth to agriculture*. 2020;2(9):41–47. (In Russ.)
7. Rudenko NE, Kayvanov SD, Zavyalik FN. Innovative lancet tillage paw. *Agricultural machinery and technologies*. 2016;6:16–20. (In Russ.) doi: 10.22314/207375992016.6.1620
8. Sazonov MV. Analysis of technological stability of the course of the combined working body on the depth of tillage. In: *Innovative achievements of science and technology of the agroindustrial complex: Collection of scientific papers of the International scientific and practical conference, Kinel, December 13–16, 2016*. Kinel: Samara State Agricultural Academy; 2017:666–673. (In Russ.)
9. Priporov EV. Working bodies of steam cultivators. *Electronic scientific journal*. 2016;8(11):48–52. (In Russ.)
10. Patent RUS No. 2354089 / 05/10/2009 / Burkov L.N. Steam cultivator (options). (In Russ.)
11. Patent RUS Utility Model No. 132670 / 09/27/2013 Khinikadze TA. Universal frame of a multifunctional agricultural unit and a multifunctional agricultural unit (options). (In Russ.)
12. Rakhimov RS, Okunev GA, Mazitov NK, et al. Russian technology and technology of production of organic agricultural products. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2022;1(61):116–126. (In Russ.) doi: 10.31563/1684-7628-2022-61-1-116-126
13. Nesmian AY, Tsench YuS, Kaimakova AS. Analysis of changes in the technical and technological level of steam cultivators in the XXI century. *Technical service of machines*. 2021;2(143):174–183. (In Russ.) doi: 10.22314/2618-8287-2021-59-2-174-183
14. Lisunov OV, Boginya MV, Vasilyev A.A., et al. Review of machine designs for pre-sowing tillage. In: *Resource-saving technologies in the agro-industrial complex of Russia: Proceedings of the II International Scientific Conference, Krasnoyarsk, November 25, 2021*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2022:25–32. (In Russ.)
15. Filippov AI, Zayats EV, Stukanov SV. Review of the working bodies of row cultivators and the development of new ones in the concept of ecological agriculture. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2020;4:121–126. (In Russ.)
16. Mildzikhov VE. Analysis of the work of the cultivator's working body for continuous tillage. In: *Student science — agro-industrial complex: Scientific works of students of the Gorsky State Agrarian University*. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University; 2017:13–16. (In Russ.)
17. Kolosovich EK, Korneev EA, Golovanov DA, et al. Comparative analysis of technical and operational characteristics of cultivators. In: *Electronic scientific and methodological Journal of Omsk State Agrarian University*. 2017;1(8):30. (In Russ.)
18. Khudaikuliyev RR, Juraeva NB, Urinov AP. Patent research aimed at the development and improvement of designs of wide-range cultivators. *Universum: technical sciences*. 2020;1(70):28–32. (In Russ.)
19. Merrill SD, Zobeck TM, Liebig MA. Field measurement of wind erosion flux and soil erodibility factors as affected by tillage and seasonal. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2022;86:1296–1311. (In Russ.) doi: 10.1002/saj2.20436
20. Feskov SA, Orekhova GV, Dyachenko AV. Wear of pointed paws and the possibility of using compensating elements during their restoration. *Design, use and reliability of agricultural machinery*. 2016;1(15):159–165. (In Russ.)
21. Mikhachenkov AM, Feskov SA. Wear of cultivator paws of the Morris sowing complex. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2013;10:55–58. (In Russ.)
22. Mikhachenkov AM, Feskov SA, Ryzhik VN. Computer technologies for measuring the wear of pointed paws of cultivators. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2016;2(54):89–93. (In Russ.)
23. Feskov SA, Dianov XA, Grin AM. Dynamics and intensity of wear of branded and restored sowing paws of the Morris sowing complex. *Proceedings of the Faculty of Engineering and Technology of the Bryansk State Agrarian University*. 2017;1(1):36–48. (In Russ.)
24. Lyulyakov IV, Buylov VN, Tarasyev ES. Working conditions of the lancet paw. In: *Trends in the development of science and education*. 2016;12-3:57–60. (In Russ.) doi: 10.18411/lj2016-3-62
25. Kopithan K, Vijitha V, Sayanthan S, et al. Design, Fabrication and Performance Evaluation of Super Tine Cultivator. In: *Proceedings of 7th International Conference on Dry Zone Agriculture (ICDA 2021). Faculty of Agriculture, University of Jaffna, Sri Lanka, 3rd and 4th December 2021*. Jaffna:2021;99.
26. Patent RUS №. 2111633 / 05/27/1998. Shadrin AP. Steam cultivator for tillage in forest areas that have emerged from under uprooting and combing out roots. (In Russ.)
27. Padalcin KD, Kulaev EV. A new energy-saving steam cultivator KEMS-4. *Rural mechanizer*. 2015;1:5. (In Russ.)
28. Radin SY, Buneev SS, Shubin SY, et al. Improving the reliability and efficiency of cultivators with s-shaped racks. In: *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2022;8(214):108–114. (In Russ.) doi: 10.53083/1996-4277-2022-214-8-108-114
29. Saleev FI, Yakovlev VT. Improving the design of the cultivator rod drive. In: *State and prospects of development of the agro-industrial*

- complex: collection of scientific papers of the XII International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, February 27 – March 01, 2019. Rostov-on-Don: DSTU-PRINT LLC; 2019:537–541. (In Russ.) doi: 10.23947/interagro.2019.6.537-541
30. Saleev FI, Yakovlev VT, Ponomarev MA. Analysis of drive designs of working bodies of “rod” cultivators for continuous surface tillage. In: *Agrarian science in the XXI century: problems and prospects: collection of articles of the All-Russian Scientific and practical conference, Saratov, February 12–15, 2018 / Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*. Saratov: Tsessain; 2018:557–561. (In Russ.)
31. Yakovlev VT, Saleev FI. Improving the design of a cultivator rod attachment for continuous surface tillage. *Polzunovsky Almanac*. 2018;3:73–76. (In Russ.)
32. Patent RUS Utility model No. 78625 / 10.12.2008. Rudenko NE, Kulaev EV, Lyakhov AP. Modular steam cultivator. (In Russ.)
33. Talarczyk W, Zbytek Z. Uniwersalna konstrukcja kultywatora podorywkowego i obsypnika do ziemniaków. *Zeszyty problemowe postępy nauk rolniczych*. 2009;543:355–364.
34. Andreev VL, Demshin SL, Ilyichev VV, et al. Multifunctional tillage unit with replaceable working bodies. *Bulletin NGIEI*. 2018;11(90):87–102. (In Russ.)
35. Abbaspour-Gilandeh Y, Fazeli M, Roshanianfard A, et al. Effect of Different Working and Tool Parameters on Performance of Several Types of Cultivators. *Agriculture*. 2020;10:145. doi: 10.3390/agriculture10050145
36. Priporov EV, Priporov IE, Samurganov GE. Comparative analysis of cultivators for pre-sowing tillage. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020;1(81):77–81. (In Russ.)
37. Rudenko NE, Lyakhov AP. Resource-saving modular steam cultivator. *Proceedings Of Gorsky State Agrarian University*. 2009;46(2):93–96. (In Russ.)
38. Patent RUS Utility Model No. 135875 / 12/27/2013 Nurhakimov R.H. Energy-saving paw. (In Russ.)
39. Myalo VV, Myalo OV, Demchuk EV, et al. Basic Parameters Substantiation of the Cultivator Working Body for the Continuous Tillage in the System of Ecologically Safe Resource-Saving Agriculture. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019;224. doi: 10.1088/1755-1315/224/1/012023
40. Uncovered TS. Fighting the blockage of the lancet foot rack with a cutting disc. In: *The contribution of young scientists from agricultural universities and research institutes to solving the problems of import substitution and food security in Russia: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, September 16–17, 2021*. Volgograd: Volgograd State Agrarian University; 2021:159–162. (In Russ.)
41. Wang M, Fu ZL, Zheng ZQ, et al. Effect of Performance of Soil Cultivator with Different Surface Textures of Shovel Wing. *Agriculture*. 2021;11. doi: 10.3390/agriculture11111039
42. Nekhoroshev DA, Shevketov EM. Improving the design of the working organ of the KPS-4 steam cultivator. In: *Strategy for the development of agriculture in modern conditions — continuation of the scientific heritage of Listopad G.E., Academician VASHNIL (RASKHN), Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd, November 06–07, 2018*. Volgograd: Volgograd State Agrarian University; 2019:28–31. (In Russ.)
43. Shovkoplyas AV, Seliverstov DS. Review of existing designs of pointed paws and ways to improve them. In: *Agrotechnological processes within the framework of import substitution: materials of the International Scientific and Practical Conference, Michurinsk, October 25–27, 2016*. Michurinsk: BIS; 2016:295–299. (In Russ.)
44. Babitskiy L, Belov A, Moskalevich V. Increasing the effectiveness of impact on soil of cultivator working bodies. *AIP Conference Proceedings*. 2022;2503(1). doi: 10.1063/5.0119933
45. Babitskiy LF, Sobolevsky IV, Kuklin VA. Substantiation of parameters of vibro-shock springs of cultivator paws. *Agrarian science of the Euro-North-East*. 2017;2(57):76–79. (In Russ.)
46. Chertkoev EM. Improved working bodies of cultivators for continuous processing of soils clogged with stones. In: *Bulletin of scientific works of young scientists, graduate students, undergraduates and students of the Gorsky State Agrarian University*. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University; 2018:92–93. (In Russ.)
47. Mildzikhov VE, Kalaev SS, Kubalov MA. Oscillatory working organ of a cultivator for continuous tillage. In: *Achievements of science in agriculture: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (correspondence), Vladikavkaz, October 02–03, 2017*. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University; 2017:275–280. (In Russ.)
48. Khabibov SR, Babaeva AV. Fundamentals of stabilization of cutting weeds with a cultivator with right- and left-handed paws. *Scientific life*. 2021;16(8):1129–1139. (In Russ.) doi: 10.35679/1991-9476-2021-16-8-1129-1139
49. Patent RUS № 2462852 / 10.10.2012. Mikhilchenkov AM, Kovalev AP, Budko SI, Komogortsev VF. Pointed cultivator paw. (In Russ.)
50. Patent RUS № 32358 / 09/20/2003. Tolstov VK, Buretsky AG, Bobrov VG. Cultivator's paw. (In Russ.)
51. Patent RUS № 2282336 / 27.07.2006. Zhuk AF, Shishimorov SA. Pointed paw. (In Russ.)
52. Rudenko NE, Gorbachev SP, Kalugin DS, et al. Energy-saving lancet tillage paw. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2015;11:11–13. (In Russ.)
53. Dinakarraj B, Chander R, Matam P, et al. Design and analysis of rotovator and cultivator blades by various materials using fea. *The Journal Of Oriental Research Madras*. 2021;1:149–156.
54. Makarenko AN, Martynova IV. To substantiate the shape of the working surface of a cultivator paw. In: *Actual problems of agroengineering and ways to solve them, Maysky, November 19, 2018*. Maysky: Belgorod State Agrarian University named after VY Gorin; 2018:94–99. (In Russ.)
55. Patent RUS №. 190298 / 06/25/2019. Blokhin VN, Kuvshinov NM, Sluchevsky AM, et al. Flat-cutting hollow pointed foot. (In Russ.)
56. Patent RUS № 194605 / 17.12.2019. Blokhin VN, Sluchevsky AM, Kuznetsov VV, et al. Hollow pointed foot. (In Russ.)
57. Seliverstov DS. To substantiate the design of a pointed paw. In: *Scientific achievements and discoveries of modern youth: a collection of articles by the winners of the international scientific and practical conference: in 2 parts, Penza, February 17, 2017*. Penza: Science and Education; 2017:266–268. (In Russ.)
58. Patent RUS № 209520 / 03/16/2022. Pikmullin GV, Mardanov RH, Vagizov TN, Nurmiev AA. The working body of the tool for non-tillage tillage. (In Russ.)
59. Patent RUS № 103267 / 04/10/2011. Pikmullin GV, Bulgariev GG, Ibyaminov FF. The working body of the tool for non-tillage tillage. (In Russ.)

60. Patent USSR № 1768012 / 07.10.1992. Taranin VI, Zemlyansky BA, Rykov VB. Cultivator working body. (In Russ.)
61. Mudarisov SG, Sultanov ShM. Substantiation of the working surface of a pointed paw with variable parameters. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006;8:35–36. (In Russ.)
62. Patent RUS № 2105447 / 27/02/1998 Shadrin AP. Working body for cultivator. (In Russ.)
63. Patent RUS № 2738899 / 12/18/2020. Martynov IS, Shaprov MN. Working body for surface tillage. (In Russ.)
64. Patent RUS № 112234 / 04/16/1957. Nimtsov AF. Flat-cut cultivator foot. (In Russ.)
65. Patent RUS № 2749462 / 11.06.2021. Nekhoroshev DD, Nekhoroshev ND, Nekhoroshev DA. Cultivator working body. (In Russ.)
66. Patent RUS № 2758935 / 03.11.2021. Nekhoroshev DD, Nekhoroshev ND, Nekhoroshev DA. Cultivator's working body. (In Russ.)
67. Patent RUS № 2679162 / 02/06/2019. Bulgariyev GG, Yarullin FF, Valiev AR, Mukhamadyarov FF. The working body of the cultivator-planar cutter. (In Russ.)
68. Patent RUS № 204753 / 09.07.2021. Slesarev VN, Sineshchekov VE, Malygin AE, Slesarev AV. Cultivator paw. (In Russ.)
69. Patent RUS № 2303340 / 27.07.2007. Zvolinsky VP, Mukhortov VI, Saldaev AM. Working body for steam treatment. (In Russ.)
70. Torikov VE, Starovoitov SI. On the work of the universal pointed paw. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2016;5(57):56–60. (In Russ.)
71. Myalo VV, Myalo OV, Demchuk EV. Substantiation of the main parameters of the cultivator's working body for continuous tillage. *Vestnik of Omsk SAU*. 2019;2(34):153–164. (In Russ.)
72. Patent RUS № 2294074 / 02/20/2007. Zvolinsky VP, Tyutyuma NV, Saldaev AM. Cultivator's paw.
73. Patent RUS № 2295214 / 03/20/2007. Rakov EE, Rakov EY. Cultivator paw. (In Russ.)
74. Rudenko NE, Padalcin KD. Investigation of the process of interaction of a combined working organ with soil. *Agricultural machinery and technologies*. 2014;2:26–28. (In Russ.)
75. Shovkoplyas AV, Burlakov PA. A pointed paw with an asymmetric toothed profile, In: *Science and education: current issues, achievements and innovations: collection of articles of the III International Scientific and Practical Conference: at 2 o'clock, Penza, June 07, 2022*. Penza: Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.); 2022:89–92. (In Russ.)
76. Rudenko NE, Padalcin KD. Substantiation of the parameters of a moisture-saving pointed paw. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2013;3(11):64–67. (In Russ.)
77. Pozdnyakov NA. Methodology for determining the effect of soil forces on the working organs of agricultural implements. *The International Technical-Economic Journal*. 2011;1:86–91. (In Russ.)
78. Pozdnyakov NA. Mathematical model for determining the resistance of cutting working bodies. *The International Technical-Economic Journal*. 2011;2:93–99. (In Russ.)
79. Starovoitov SI. On the construction of projections of a pointed paw with a variable crumbling angle and a transformed blade. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2015;6(52):47–53. (In Russ.)
80. Shakhov VA, Uchkin PG, Aristanov MG. Theoretical study of traction resistance of lancet paws of cultivators. In: *Scientific and information support of innovative development of agro-industrial complex: Materials of the XIV International scientific and practical Internet Conference, Moscow region, Pushkinsky district, Pravdinsky district, June 07–09, 2022*. Moscow: Russian Scientific Research Institute of Information and Technical and Economic Research on engineering and technical support of the agro-industrial complex; 2022:735–742. (In Russ.)
81. Vasilenko VV, Vasilenko SV, Borzilo VS. The zone of soil loosening with a cultivator paw. In: *Agricultural machinery and technologies*. 2018;12(4):48–52. (In Russ.) doi: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52
82. Starovoitov SI, Grin AM, Lebedev DE. About the angles of the universal pointed foot. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2016;3(55):76–82. (In Russ.)
83. Gnusov MA, Lysych MN. Analysis of existing numerical methods for modeling the interaction of working bodies of earthmoving and tillage machines with soil media. *Voronezhskiy nauchno-tehnicheskiiy vestnik*. 2020;3(33):128–139. (In Russ.) doi: 10.34220/2311-8873-2020-3-3-128-139
84. Malikov VN, Ishkov AV, Dmitriev SF. Assessment of the stress-strain state of the pointed paw using computer 3D modeling. *High-performance computing systems and technologies*. 2021;5(2):53–61. (In Russ.)
85. Obidov A, Nuriev K, Allanazarov M, et al. Parameters of tillage working bodies. *E3S Web of Conferences*. 2021;284. doi: 10.1051/e3sconf/202128402012
86. Chen Y, Li B. Measurement and modelling of soil displacement from sweeps with different cutting widths. *Biosystems Engineering*. 2017;161:1–13.
87. Ovsyanko V, Petrovsky A. The computer modeling of interaction between share-moulboard surface of plough and soil. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2014;1(59):100–103.
88. Barker M.E. Predicting loads on ground engaging tillage tools using computational fluid dynamics. In: *Digital Repository*. Iowa State University, 2008:195.
89. Tenu I. Impact of Agricultural Traffic and Tillage Technologies on the Properties of Soil. In: *World's largest Science, Technology & Medicine Open Access book publisher*. 2012;10:263.
90. Urbán M, Kotrocz K, Kerényi G. Investigation of the soil – tool interaction by SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) based simulation. *American Transaction on Engineering & Applied Sciences*. 2002;1–6.
91. Ishkov A, Malikov V, Shegolev A. Influence of the Composition of Boriding Mixture on the Saturation of the Surface of Various Steels with Boron during High-Speed HFC-Boriding. *Materials Science Forum*. 2021;1022:127–135.
92. Anutov RM, Kotelnikov VYa, et al. Parameters of stability of the course of the soil-processing unit. *Modern high-tech technologies*. 2012;12:12–13. (In Russ.)
93. Lobachevsky YaP, Elsheikh AH. Theoretical substantiation of the optimal distance between the ripping paws and the discs of a tool with combined working bodies. *Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "V.P. Goryachkin Moscow State Agroengineering University"*. 2008;4(29):36–39. (In Russ.)
94. Zakharov PV, Lysych MN, Shabanov ML. Modeling the workflow of a rotary cultivator. *Modern problems of science and education*. 2015;2–2:127. (In Russ.)

- 95.** Bulgarev GG, Yunusov RG. Substantiation and determination of the main parameters of a spiral-plate working organ. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2013;8(3(29)):57–62. (In Russ.)
- 96.** Martynenko AS, Ustinov NN. A model of the stress-strain state of a cultivator stand in the form of a flexible tubular element with an inverse ratio of axes. In: *Development of scientific, creative and innovative activity of youth: Materials of the IX All-Russian scientific and practical Conference of young scientists, Lesnikovo, November 29, 2017*. Lesnikovo: Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev; 2017:69–73. (In Russ.)

- 97.** Anutov RM, Kotelnikov VYa, Kozyavin AA, et al. Dynamic studies of frames and working organs of a cultivator. *Modern high-tech technologies*. 2013;3:9–10. (In Russ.)
- 98.** Nikonov MV. Forceful effects on the cultivator's paw in the process of work and the possibility of their assessment. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2015;3:177–181. (In Russ.)
- 99.** Patent RUS № 2107275 / 20/03/1998 Kravchenko VA, Yarovoy VG, Parkhomenko SG, Melikov IM, Yarovoy AV Tire tester. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

* Хозяев Игорь Алексеевич,

д-р техн. наук, профессор,
профессор кафедры «Техника и технологии пищевых производств»;
адрес: Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1;
ORCID: 0000-0003-3821-2634;
eLibrary SPIN: 3033-8771;
e-mail: khozyayev00@mail.ru

Пархоменко Галина Геннадьевна,

канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник отдела механизации
растениеводства лаборатории механизации полеводства;
ORCID: 0000-0003-1944-216X;
eLibrary SPIN: 6048-2834;
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru

Камбулов Сергей Иванович,

д-р техн. наук, доцент,
главный научный сотрудник отдела механизации
растениеводства лаборатории механизации полеводства;
профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки
продукции АПК»;
ORCID: 0000-0001-8712-1478;
eLibrary SPIN: 3854-2942;
e-mail: kambulov.s@mail.ru

Подлесный Дмитрий Сергеевич,

ведущий инженер отдела механизации растениеводства
лаборатории механизации полеводства; старший
преподаватель кафедры технологий и оборудования
переработки продукции АПК;
ORCID: 0000-0002-6069-138X;
eLibrary SPIN: 5168-1664;
e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

Рыков Виктор Борисович,

д-р техн. наук, доцент,
главный научный сотрудник отдела механизации
растениеводства лаборатории механизации полеводства;
профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки
продукции АПК»;
ORCID: 0000-0003-1358-9312;
eLibrary SPIN: 8328-6310;
e-mail: rikovvb@gmail.com

AUTHORS' INFO

* Igor A. Khozyayev,

Dr. Sci. (Engineering), Professor,
Professor of the Machinery and Technology of Food Production
Department;
address: 1 Gagarin sq, Rostov-on-Don, Russia, 344003;
ORCID: 0000-0003-3821-2634;
eLibrary SPIN: 3033-8771;
e-mail: khozyayev00@mail.ru

Galina G. Parkhomenko,

Cand. Sci. (Engineering),
Leading Researcher of the Crop Farming Mechanization Department
of the Laboratory of Field Crop Farming Mechanization;
ORCID: 0000-0003-1944-216X;
eLibrary SPIN: 6048-2834;
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru

Sergey I. Kambulov,

Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Chief Researcher of the Crop Farming Mechanization Department
of the Laboratory of Field Crop Farming Mechanization; Professor
of the Technologies and Equipment for Processing Agricultural
Products Department;
ORCID: 0000-0001-8712-1478;
eLibrary SPIN: 3854-2942;
e-mail: kambulov.s@mail.ru

Dmitry S. Podlesny,

Leading Engineer of the Crop Farming Mechanization Department
of the Laboratory of Field Crop Farming Mechanization; Senior
Lecturer of the Technologies and Equipment for Processing
Agricultural Products Department;
ORCID: 0000-0002-6069-138X;
eLibrary SPIN: 5168-1664;
e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

Victor B. Rykov,

Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Chief Researcher of the Crop Farming Mechanization Department
of the Laboratory of Field Crop Farming Mechanization; Professor
of the Technologies and Equipment for Processing Agricultural
Products Department;
ORCID: 0000-0003-1358-9312;
eLibrary SPIN: 8328-6310;
e-mail: rikovvb@gmail.com

Полушкин Олег Алексеевич,

д-р техн. наук, профессор,
профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика»;
ORCID: 0000-0002-4070-8121;
eLibrary SPIN: 3332-4049;
e-mail: polushckinol@yandex.ru

Oleg A. Polushkin,

Dr. Sci. (Engineering), Professor,
Professor of the Theoretical and Applied Mechanics Department;
ORCID: 0000-0002-4070-8121;
eLibrary SPIN: 3332-4049;
e-mail: polushckinol@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author