

АГРОИНЖЕНЕРИЯ / AGRICULTURAL ENGINEERING

УДК 631.316.44

doi: 10.15507/2658-4123.032.202204.490-503


Научная статья



Методологическая основа для создания почвообрабатывающих фрез

А. В. Безруков , Н. И. Наумкин, В. Ф. Купряшкин,
В. В. Купряшкин

*Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет
(г. Саранск, Российская Федерация)*

 bezrukow157@yandex.ru

Аннотация

Введение. Рассматривается проблема повышения эффективности функционирования самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез за счет адаптации к изменяющимся условиям внешней среды, в частности, к изменяющимся физико-механическим свойствам почвы. Цель исследования – разработка методологии проектирования самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез.

Материалы и методы. В исследовании применялись основные положения теории механизмов и машин и теории проектирования в машиностроении. Основное внимание уделено общенаучному принципу адаптации при создании самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез. Авторы понимают этот принцип как способность автоматического обеспечения требуемого режима работы машины применительно к почвенным условиям.

Результаты исследования. Представленные в статье результаты позволили предложить методологический подход к созданию эффективных самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез с возможностью их адаптации к изменяющимся внешним условиям. Результаты представлены в виде методики проектирования фрез и нового технического решения их адаптации к почвенным условиям. На основе патентов на изобретения и полезные модели, в которых реализован этот способ, был разработан опытный образец фрезы, автоматически охватывающей весь требуемый диапазон режимов работы.

Обсуждение и заключение. По сравнению с известными фрезами такое техническое решение конструкции почвообрабатывающей фрезы позволяет повысить качество обработки почвы. Это происходит благодаря тому, что значение кинематического показателя находится в нужном диапазоне, а агротехнические требования, предъявляемые к обработке почвы, соблюдаются.

Ключевые слова: адаптация, обработка почвы, режимы работы, автоматизация, почвообрабатывающие фрезы, методология проектирования

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Безруков А. В., Наумкин Н. И., Купряшкин В. Ф., Купряшкин В. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.


Для цитирования: Методологическая основа для создания почвообрабатывающих фрез / А. В. Безруков [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 4. С. 490–503. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202204.490-503>

Original article

Methodological Basis for Designing Tillage Cutters

A. V. Bezrukov , N. I. Naumkin, V. F. Kupryashkin,
V. V. Kupryashkin

National Research Mordovia State University
(Saransk, Russian Federation)

 bezrukow157@yandex.ru

Abstract

Introduction. The paper considers the problem of improving the efficiency of self-propelled small-sized tillage cutters by adapting to changing environments, and in particular, to changing physical and mechanical properties of the soil. The aim of the research is to develop a methodology for designing self-propelled small-sized tillage cutters.

Materials and Methods. The study used the basic provisions of the theory of mechanisms and machines and the design theory in mechanical engineering. The main attention is paid to the general scientific principle of adaptation in designing self-propelled small-sized tillage cutters. The authors understand this principle as the ability to automatically provide the required mode of machine operation in relation to the soil conditions.

Results. The results presented in the article made it possible to propose a methodological approach to designing efficient self-propelled small-sized tillage cutters with an ability to adapt them to changing environments. The results of the study are a methodology for designing tillage cutters and a new technical solution for their adaptation to soil conditions. On the basis of patents for inventions and utility models, in which this method is implemented, there was developed a prototype tillage cutter, which automatically covers the full range of required operating modes.

Discussion and Conclusion. Compared to the known tillage cutters, the proposed technical solution for the soil tillage cutter design allows improving the quality of soil tillage. This is due to the fact that the value of the kinematic index is in the required range, and the agrotechnical requirements for tillage are met.

Keywords: adaptation, tillage, operating modes, automation, tillage cutters, design methodology

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Bezrukov A.V., Naumkin N.I., Kupryashkin V.F., Kupryashkin V.V. Methodological Basis for Designing Tillage Cutters. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(4):490–503. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202204.490-503>

Введение

В настоящее время технологические процессы, реализуемые в агропромышленном комплексе, в частности обработка почвы, невозможны без использования современных высокопроизводительных почвообрабатывающих машин и орудий. Однако в условиях

жестких требований, предъявляемых к качеству обработки почвы, не все существующие машины могут применяться для этого в силу значительной неоднородности физико-механических свойств почвы и ее состояния. Поэтому задача проектирования сельскохозяйственных машин с возможностью их

адаптации к изменяющимся почвенным условиям является актуальной.

Как показывают исследования, качество обработки почвы определяется такими показателями, как 1) рыхление, аэрация и крошение уплотненной почвы; 2) перемешивание верхнего слоя почвы; 3) уничтожение сорняков путем подрезания или прикрытия слоем почвы; 4) выравнивание поверхности поля и подготовка семенного ложа; 5) обеспечение минимальной высоты гребней дна борозды; 6) соблюдение нормированных режимов работы машины, в частности возможности изменять степень измельчения почвы; 7) сроки выполнения работ; 8) соблюдение технического состояния почвообрабатывающих машин (форма рабочих органов, правильность регулировки и т. п.) и др. [1–4]. Только применение адаптивных машин позволяет обеспечить выполнение перечисленных требований и повысить производительность работы, что является залогом хорошего урожая продовольственных культур¹ [5–7].

Все эти показатели важны для решения сформулированных задач, но в нашем исследовании особое внимание уделяется соблюдению нормированных режимов работы машины, соответствующих состоянию обрабатываемой почвы. Это позволяет отслеживать изменение параметров почвы и задавать необходимые режимы работы почвообрабатывающей машине.

Наиболее эффективно это реализуется в самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фреззах (СМПФ) [8–11]. Они используются для фрезерования почвы в личных подсобных, фермерских, тепличных хозяйствах и незаменимы в условиях ограничения участков местности. СМПФ

применяется для уничтожения сорняков, равномерного перемешивания удобрений с почвой, создания мелкокомковатого строения разрыхляемого слоя, водообеспечения почвы, повышения ее микробиологической активности и интенсивности «дыхания», создает глубинные запасы влаги, а также способствует усилению в почве процессов нитрификации, создавая благоприятные условия для минерального питания выращиваемых культур.

Однако большинство выпускаемых сегодня СМПФ обладают рядом недостатков: 1) высокие динамические нагрузки, возникающие во фрезе во время работы; 2) нестабильность протекания процесса обработки почвы; 3) повышение утомляемости оператора; 4) неравномерность загрузки двигателя на различных обрабатываемых участках; 5) перегрузка элементов привода; 6) трудности в изменении режимов работы; 7) невозможность автоматической подстройки под внешние изменяемые почвенные условия [5; 9; 10].

В связи с этим возникает задача разработать общие правила создания фрез, следуя которым можно устранить вышеперечисленные недостатки.

Цель исследования – разработать методологию для создания СМПФ.

Для достижения предложенной цели необходимо решить следующие задачи: 1) выполнить анализ имеющихся исследований по сформулированной проблеме; 2) выявить наиболее значимые методологические подходы, методы и приемы проектирования почвообрабатывающих фрез; 3) выделить наиболее важные методологические аспекты при проектировании СМПФ; 4) выявить принципы функционирования фрез (адаптация, отсутствие избыточных связей, возможность конвертации в ходе

¹ Чаткин М. Н. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих рабочих органов с винтовыми элементами. Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2008. 313 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004106561> (дата обращения: 21.06.2022).

проектирования и др.); 5) синтезировать новый способ адаптации на основе отслеживания изменяющихся условий и разработать устройство для этого.

Обзор литературы

Большинство исследований посвящены повышению функционирования СМПФ за счет отдельно рассматриваемого фактора и не имеют системного характера или методических рекомендаций.

Так, вопросы адаптации ротационных почвообрабатывающих машин к изменяющимся условиям обрабатываемой почвы ранее становились объектами исследования [1–7]. При этом под адаптацией понималось обеспечение работы машины в постоянно изменяющихся условиях внешней среды. Мы в дальнейшем под адаптацией будем понимать способность автоматического обеспечения требуемого режима работы машины применительно к почвенным условиям [8]. Ниже представлены основные результаты этих работ.

Отечественные ученые предлагают осуществлять адаптацию за счет 1) сохранения постоянного угла резания в течение всего цикла резания почвы для одного или всех кинематических режимов; 2) обеспечения всего диапазона режимов регулирования с вмешательством оператора; 3) внедрения блока управления, автоматически изменяющего режим работы машины² [8–11].

Одним из первых эту проблему применительно к почвообрабатывающим фрезам в нашей стране начал изучать Г. Ф. Попов, который предложил способ и устройство обеспечения постоянства угла резания фрезы за всю фазу отрезания почвенной стружки. Во время работы барабана каждый нож фрезы

описывает траекторию трохойды с минимальным отклонением от нее. Практическое применение такого рабочего органа позволяет снизить энергоемкость фрезерования на 30 % при сохранении заданных агротехнических требований. Однако конструкция таких фрезерных барабанов оказалась значительно сложнее обычных, кроме того, у нее только один режим работы, обусловленный конкретными почвенными условиями, что является сдерживающим фактором их практического использования³.

В работе В. Ф. Купряшкина и А. С. Князькова для устранения этих недостатков и плавного регулирования угла резания предлагается использовать пространственный кулачок со сложной криволинейной поверхностью, по которой ролик ножа будет перемещаться вдоль вала и задавать определенный закон его движения для любой поступательной скорости СМПФ в соответствии со свойствами почвы и в заданном диапазоне. Обязательным условием нормальной работы такого кулачкового механизма является наличие замыкания кулачкового механизма, то есть обеспечение постоянного контакта ролика и кулачка [9].

В исследованиях В. Ф. Купряшкина бесступенчатое регулирование скорости и подачи на нож обеспечивается за счет использования в приводе ходовых колес СМПФ клиноременного вариатора. Изменение передаточного отношения клиноременного вариатора в такой фрезе осуществляется путем вращения маховичка, расположенного на резьбовом участке вала двигателя привода ходовых колес [10; 11].

В ранних исследованиях авторов был предложен способ адаптации

² Попов Г. Ф. Исследование технологических режимов и обоснование конструктивных параметров рабочих органов пропашных фрезерных культиваторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1970. 23 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007331052> (дата обращения: 21.06.2022).

³ Там же.

машины на основе обеспечения возможности автоматического регулирования режимов работы фрезы (изменение поступательной скорости) за счет блока управления частотой вращения (БУЧВ) ее электродвигателей, в зависимости от изменения свойств обрабатываемой почвы [8]. Для его реализации был сконструирован и изготовлен опытный образец СМПФ с адаптацией режимов работы к изменяющимся почвенным условиям. Для этого в конструкцию машины добавили двигатель привода ходовых колес, который управляется через БУЧВ. Он при помощи сканера твердости почвы отслеживает изменение структуры почвы и подстраивает режимы работы машины к внешним условиям.

Интересен опыт зарубежных исследователей по разрешению этой проблемы. Ряд авторов, используя научный метод аналогии, предложили для снижения среднего сопротивления резанию использовать в ротационных почвообрабатывающих машинах бионические режущие зубья [12]. Китайские исследователи для снижения рабочего сопротивления и увеличения производительности провели оптимизацию конструкции роторной почвообрабатывающей машины на основе моделирования процесса выемки с дискретным элементом [13]. Аналогичные исследования проводились применительно к почвообрабатывающим фрезам для очистки соломы и стерни, оставшихся после сбора урожая, в сельском хозяйстве без обработки почвы [14–17]. С помощью метода имитационного анализа дискретных элементов определялся оптимальный угол изгиба стерневой фрезы. Для соблюдения агротехнических требований гонконгскими учеными

при помощи теоретического анализа и автоматизированного проектирования был разработан саморегулирующийся резак для стерни, повышающий производительность работы и снижающий сопротивление резанию [18–20]. Они же предложили метод работы полосового типа с меньшей обработкой почвы и разработали приводной резак для стерни [21; 22]. Для многофакторных экспериментов адаптивных роторных почвообрабатывающих машин был разработан испытательный стенд, моделирующий полевые условия для повышения эффективности проектирования новых машин [23].

Таким образом, из обзора литературы следует, что проблема адаптации ротационных почвообрабатывающих машин актуальна во всем мире и решают ее по-разному. Предложенные способы и средства их реализации в основном позволяют обеспечить решение сформулированных частных задач. Однако в этих исследованиях не решается такая важная проблема, как адаптация.

Материалы и методы

Методология представленного исследования построена на интеграции основных положений теории механизмов и машин в области исследования механических систем и положений теории проектирования в машиностроении вообще и сельхозмашиностроении в частности [10; 24; 25]. Мы также использовали методы морфологического анализа и классификации вместе с методами анализа-синтеза и дедукции-индукции для поиска нового технического решения⁴. Под методом будем понимать сбалансированную систему эмпирического и теоретического уровней исследования, позволяющую

⁴ Наумкин Н. И., Купряшкин В. Ф., Грошева Е. П. Методология научного творчества : учебник. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 200 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008146532> (дата обращения: 21.06.2022).

операционально, последовательно и поэтапно получать и обобщать новое научное знание от фактов до законов и теорий [26].

Наше основное внимание было уделено общенаучному принципу адаптации и его использованию при создании СМПФ. В наиболее общем виде содержание и структуру методики проектирования фрез можно представить рядом основных субординированных этапов, которые представлены в таблице.

Результаты исследования

Последовательное прохождение этапов (табл.) позволило нам спроектировать и создать новую СМПФ, которая обеспечивает нахождение значения кинематического параметра ($\lambda = v_o / v_n$, где v_o – окружная скорость активных рабочих органов, м/с; v_n – поступательная скорость фрезы, м/с) в требуемом (допустимом) диапазоне изменения ($\lambda = 4–6$)

и адаптацию режимов работы фрезы к почвенным условиям (рис. 1)⁵ [27].

Первый этап проектирования (табл.) подробно раскрыт нами в обзоре литературы настоящей статьи. В рамках второго и третьего этапов было синтезировано техническое решение, в котором за основополагающий критерий, при соблюдении всех вышеперечисленных основных требований к фрезе, был принят принцип адаптации машины. При этом авторы руководствовались основными положениями теории и алгоритма решения изобретательских задач (ТРИЗ и АРИЗ), в соответствии с которыми был пройден путь от постановки проблемы и получения идеального технического решения до конкретного инновационного продукта: способ адаптации СМПФ к меняющимся почвенным условиям и устройство для его реализации⁶ [26].

Т а б л и ц а

T a b l e

Этапы методики проектирования почвообрабатывающих фрез
Stages of designing the methodology of tillage cutters

№	Этапы проектирования / Design stages
1	Анализ проблемной ситуации существующих недостатков, выдвижение проблемного замысла, обоснование и формулировка проблемы, конкретизация проблемы в задачах / Analyzing the problem situation of existing shortcomings, developing the problem plan, understanding and formulating the problem, specifying the problem in the tasks
2	Выдвижение первичного предположения, рабочей и развернутой гипотезы / Making initial, working and extended hypotheses
3	Обоснование гипотезы путем установления ее экспериментальной проверяемости, теоретической обоснованности, логической состоятельности и достоверности / Justifying the hypothesis by establishing its experimental verifiability, theoretical validity, logical consistency, and credibility
4	Программа экспериментального исследования, выбор процедур и технических средств, разработка опытного образца фрезы / Developing the program of experimental research, choosing procedures and technical means, designing a prototype cutter
5	Проведение полевых экспериментов, сбор и обработка данных наблюдения и измерений / Conducting field experiments, collecting and processing observation and measurement data
6	Сравнение экспериментальных данных с содержанием предлагаемой гипотезы, ее принятие, доработка или отбрасывание / Comparison of experimental data with the content of the proposed hypothesis, its acceptance, refinement or rejection
7	Формулирование нерешенных задач и новой научной проблемы (подпроблемы) / Formulation of unsolved problems and a new scientific problem (subproblem)

⁵ Яцук Е. П., Панов И. М., Ефимов Д. П. Ротационные почвообрабатывающие машины. М. : Машиностроение, 1971. 256 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007206070> (дата обращения: 13.09.2022).

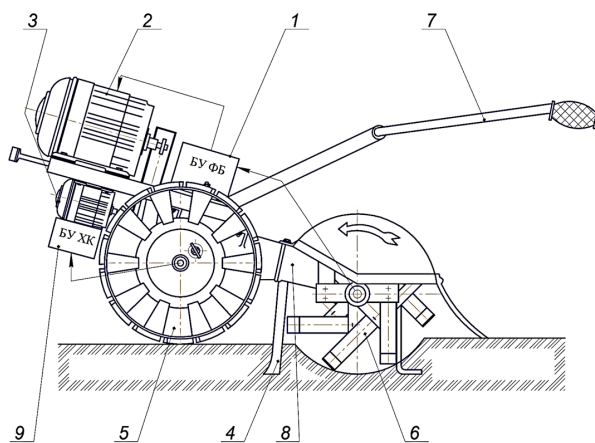
⁶ Наумкин Н. И., Купряшкин В. Ф., Грошева Е. П. Методология научного творчества.

Предложенная машина состоит из корпуса 8, органов управления 7, блока управления 1 частотой вращения вала электродвигателя 2 привода активных рабочих органов 6, блока управления 9 частотой вращения вала электродвигателя 3 привода ходовых колес 5, связанного со сканером твердости почвы 4 с возможностью отслеживания изменения плотности почвы.

Устройство работает следующим образом. СМПФ подводят к краю обрабатываемого участка. Электропитание электродвигателей 2 и 3 осуществляется через блоки 1 и 9 управления частотами вращения их валов. Вначале включают электродвигатель 2 привода активных рабочих органов 6, затем электродвигатель 3 привода ходовых колес 5. Одновременно с началом движения почвообрабатывающей фрезы происходит заглубление сканера 4 сопротивления резания почвы и активных рабочих органов 6. При движении на уплотненных участках сканер 4 отслеживает изменение сопротивления резания почвы

и подает сигнал на блоки управления 1 и 9, которые изменяют частоты вращения валов электродвигателей 2 и 3. То есть при движении по уплотненному участку почвы поступательная скорость машины уменьшается и увеличивается частота вращения активных рабочих органов, по участку с меньшей твердостью наоборот, за счет чего почвообрабатывающая фреза адаптирует режим работы под внешние условия, тем самым позволяет обеспечивать требуемое значение кинематического параметра λ и качество обработки почвы.

Подтверждением правильности принятых решений являются исследования А. А. Курочкина, в которых предложено методы проектирования машин и аппаратов перерабатывающих производств делить на две большие группы: эвристические и алгоритмические⁷. Эвристические методы представляют собой упорядоченные правила и рекомендации, помогающие при решении задач проектирования без предварительной оценки результата. К наиболее



Р и с. 1. Схема фрезы с блоками управления
F i g. 1. Diagram of the tillage cutter with control units

⁷ Курочкин А. А., Зимняков В. М. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств / Под ред. А. А. Курочкина. М. : КолосС, 2006. 318 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002887336> (дата обращения: 21.06.2022).

распространенным из них относятся: элементарных вопросов; аналогов; от целого к частному (принцип синергии); наводящих операций; коллективное спонтанное мышление (мозговой штурм) и др. Алгоритмические методы используют возможности дедукции, стремясь к оценке операций, а также определению их очередностей и связей. В результате создается ряд последовательных и приближающих к цели процедур (логических и математических алгоритмов).

Для разработки четвертого этапа (табл.) использовались методы теории механизмов и машин в области исследования механических систем и положения теории проектирования в машиностроении, а именно: 1) классическая методика проектирования и конструирования деталей и машин советских ученых П. И. Орлова⁸, Г. И. Рощина⁹, В. И. Анурьева¹⁰ [23], П. Ф. Дунаева, О. П. Леликова¹¹ и др.; 2) методологический подход А. В. Добринова [24] для создания сельскохозяйственной техники от организации исследования до процессов разработки, конструирования и производства, позволяющий разработать общую структурную модель процесса проектирования почвообрабатывающего агрегата, обосновать параметры машины и ее рабочие органы путем исследований, инженерных расчетов, математического и физического моделирования процессов

и в конечном итоге обеспечить многофункциональность и высокий уровень универсальности проектируемой техники; 3) универсальная структурная система поиска структур кинематических цепей любой сложности профессора Л. Т. Дворникова, позволяющая синтезировать возможные кинематические цепи любой сложности с возможностью их изображения в зубчатом варианте, включая метод идентификации стержневых механизмов с зубчатыми Дворникова – Садиевой¹², основанный на выборе ведущих звеньев и базисного звена с кинематическими парами пятого и четвертого классов. Спроектированный и изготовленный опытный образец фрезы показан на рисунке 2.

Такой ход исследований авторов подтверждается также содержанием работы в соавторстве с Н. И. Джабборовым, в которой проведено компьютерное моделирование и проектирование энергоэффективных почвообрабатывающих рабочих органов и машин с учетом комплексного взаимодействия почвы и рабочих органов в процессе ее обработки. При проведении исследований применялись методы математического моделирования, анализ и обобщение теоретических и расчетных данных [25].

Пятый и шестой этапы проводились на контрольных участках открытого грунта КФХ «Елисеев А. Н.» Ромодановского района РМ и на полигоне Института механики и энергетики МГУ

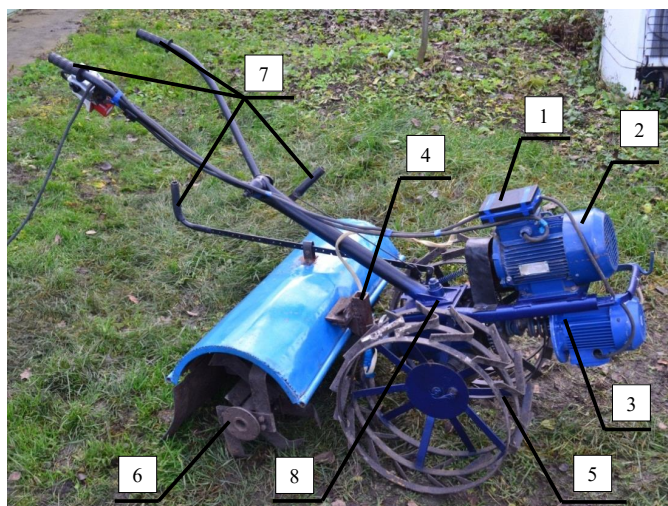
⁸ Орлов П. И. Основы конструирования : Справочно-методическое пособие. В 2 кн. Кн. 1 / Под ред. П. Н. Учаева. Изд. 3-е, испр. М. : Машиностроение, 1988. 560 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001417878> (дата обращения: 21.06.2022).

⁹ Детали машин и основы конструирования : учебник для бакалавров / под ред. Г. И. Рощина, Е. А. Самойлова. М. : Издательство Юрайт, 2012. 415 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01005080513> (дата обращения: 21.06.2022).

¹⁰ Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. Изд. 7-е в 3 т. М. : Машиностроение, 1992. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001097565> (дата обращения: 21.06.2022).

¹¹ Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Детали машин. Курсовое проектирование: учебное пособие. 5-е изд., доп. М. : Машиностроение, 2004. 560 с. URL: <https://studizba.com/files/show/pdf/4145-1-detaili-mashin-kursovoe-proektirovanie.html> (дата обращения: 21.06.2022).

¹² Садиева А. Э. Разработка методов структурного синтеза сложных зубчатых механизмов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Бишкек, 2010. 31 с. URL: http://arch.kyrlibnet.kg/uploads/KSTUSADIEVA_A.pdf (дата обращения: 21.06.2022).



Р и с. 2. Общий вид опытного образца фрезы: 1 – блок управления с обратной связью; 2 – электродвигатель привода рабочих органов; 3 – электродвигатель привода ходовых колес; 4 – сканер твердости почвы; 5 – ходовые колеса; 6 – рабочие органы; 7 – органы управления; 8 – редуктор

F i g. 2. General view of the prototype tillage cutter: 1 – feedback control unit; 2 – electric motor of the drive for working tools; 3 – electric motor of the drive for running wheels; 4 – soil hardness scanner; 5 – running wheels; 6 – working tools; 7 – operating controls; 8 – gearbox

им. Н. П. Огарева. Перед проведением полевых испытаний оценивались физико-механические свойства почвы контрольных участков путем определения влажности, твердости, коэффициентов объемного смятия и трения почвы [8; 26].

Седьмой этап представлен в следующем разделе статьи. По сравнению с известными решениями предлагаемая фреза позволяет повысить качество обработки почвы за счет обеспечения значения кинематического показателя λ обработки почвы в нужном диапазоне, соблюсти агротехнические требования, предъявляемые к обработке почвы, а также повысить эффективность функционирования.

Обсуждение и заключение

Представленные в статье исследования позволили актуализировать, доработать и конкретизировать мето-

дологию проектирования и создания самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез. В ходе ее реализации были получены важные научные результаты.

Выполнен по известным авторским методикам анализ имеющихся исследований по обозначенной проблеме, позволивший выявить наиболее перспективные и хорошо реализуемые способы и устройства адаптации фрез как в нашей стране, так и за рубежом¹³.

Такой анализ позволил создать методику проектирования фрез и синтезировать новый способ их адаптации на основе отслеживания изменяющихся условий, а также разработать устройство реализации этого способа [26].

Создан опытный образец СМПФ. Для этого была создана техническая документация на основании известных положений теории проектирования

¹³ Наумкин Н. И., Купряшкин В. Ф., Грошева Е. П. Методология научного творчества.

и конструирования промышленных изделий [23].

Таким образом, все рассмотренные почвообрабатывающие фрезы находят свое применение в определенных условиях, но для эффективной обработки почвы рекомендуется использовать предложенную СМПФ [24]. Такая фреза позволяет автоматически охватить весь диапазон режимов работы, отвечающих изменяющейся плотности почвы на обрабатываемых участках, тем самым сохранить значение кинематического параметра в требуемом

диапазоне и обеспечить требуемое качество обработки почвы при оптимальном сочетании с высокой производительностью работ, что подтверждено проведенными экспериментальными исследованиями [20].

Будущее выполненных исследований видится в автоматизации работы СМПФ и ее цифровой трансформации. Материалы статьи будут полезны исследователям, чьи работы связаны с проблемами проектирования почвообрабатывающих машин вообще и почвообрабатывающих фрез в частности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тарчоков Х. Ш., Бжинаев Ф. Х. Агротехника в борьбе с сорняками // Инновации и продовольственная безопасность. 2018. № 4. С. 46–50. doi: <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2018-0-4-46-50>
2. Гуреев И. И. Экологическая безопасность комплексной механизации агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 5. С. 62–64. doi: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10515>
3. Пархоменко Г. Г., Пархоменко С. Г. Экологически безопасная эксплуатация технических средств в условиях физической деградации почвы // Технический сервис машин. 2019. № 2. С. 40–46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38537510> (дата обращения: 21.06.2022).
4. Снижение потерь почвенной влаги на испарение / Ю. А. Савельев [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12, № 1. С. 42–47. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47>
5. Николаев В. А., Трошин Д. И. Анализ взаимодействия правого ножа агрегата непрерывного действия с грунтом // Вестник СибАДИ. 2020. Т. 17, № 4. С. 452–463. doi: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-452-463>
6. Старовойтов С. И., Ахалая Б. Х., Миронова А. В. Конструктивные особенности рабочих органов для уплотнения и выравнивания поверхности почвы // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 4. С. 51–56. URL: https://vestnik.viesh.ru/wp-content/uploads/2020/01/ВИ-ЭСХ_4_2019.pdf (дата обращения: 27.06.2022).
7. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Bionic Modelling of the Working Bodies of Machines for Surface Tillage [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 488. 2020. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012041>
8. Безруков А. В., Наумкин Н. И., Купряшкин В. Ф. Автоматизация режимов работы самоходной фрезы // Сельский механизатор. 2019. № 2. С. 6–7. URL: <http://selmech.msk.ru/219.html#> (дата обращения: 21.06.2022).
9. Князьков А. С., Наумкин Н. И., Купряшкин В. Ф. Повышение эффективности функционирования самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез путем использования адаптивных энергоэффективных рабочих органов // Вестник Мордовского университета. 2014. № 1. С. 186–194. URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/ru/articles/38-14-12/213-10-15507-vmu-025-201502-72> (дата обращения: 21.06.2022).
10. Обоснование параметров динамического стабилизатора устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда при исследовании активных ротационных рабочих органов

почвообрабатывающих машин / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 52–66. doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201701.052-066>

11. Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Купряшкин В. В. Исследование устойчивости движения подвижного модуля экспериментальной установки при испытании активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 2. С. 246–258. doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201602.246-258>

12. Study on the Reduction of Soil Adhesion and Tillage Force of Bionic Cutter Teeth in Secondary Soil Crushing / C. Guan [et al.] // Biosystems Engineering. 2022. Vol. 213. P. 133–147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.11.018>

13. Design and Test of Resistance-Reducing Excavation Device of Cyperus Edulis Based on Discrete Element Method / X. He [et al.] // Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2021. Vol. 52, Issue 12. P. 124–133. doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.12.013>

14. Design and Test of Precision Rotary-Ridging Machine for Sticky Soil / T. Zhang [et al.] // Agricultural Research in the Arid Areas. 2022. Vol. 40, Issue 2. P. 250–258. doi: <https://doi.org/10.7606/j.issn.1000-7601.2022.02.30>

15. Design and Experiments of Active Anti-Blocking Device with Forward-Reverse Rotation [Электронный ресурс] / H. Zhu [et al.] // Nongye Gongcheng Xuebao. 2022. Vol. 38, Issue 1. doi: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2022.01.001>

16. Design and Test of Lateral Stubble Cleaning Blade for Corn Stubble Field / S. Hou [et al.] // Nongye Gongcheng Xuebao. 2020. Vol. 36, Issue 2. P. 59–69. doi: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2020.02.008>

17. Simulation and Optimization of Working Parameters of Stubble Breaking Device in Two Ripening Area of Yumai in North China [Электронный ресурс] / X. Zhang [et al.] // 2021 ASABE Annual International Virtual Meeting. 2021. doi: <https://doi.org/10.13031/aim.202101112>

18. Design and Experiment of Passive Disc Cutting Blade in Corn Ridges / J. Wang [et al.] // Nongye Jixie Xuebao. 2021. Vol. 52, Issue 11. P. 59–67. doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.11.006>

19. Design and Experiment of Driving Stubble Cutter for Corn Strip with Less Tillage Operation / J. Wang [et al.] // Nongye Jixie Xuebao. 2021. Vol. 52, Issue 8. P. 51–61. doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.08.005>

20. Design and Experiment of Stubble Chopping and Scattering Device Based on 2bmfj-12 No-Tillage Precision Planter / S. Hou [et al.] // Applied Engineering in Agriculture. 2021. Vol. 37, Issue 6. P. 1031–1043. doi: <https://doi.org/10.13031/aea.14738>

21. Optimal Design and Experiment of Deep-buried Reverse Rotating Sliding Cutting Straw Returning Blade / J. Wang [et al.] // Nongye Jixie Xuebao. 2021. Vol. 52, Issue 11. P. 28–39. doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.11.003>

22. Design of Biaxial Rotary Tillage Soil Test Bench and Layered Tillage Test / C. Guan [et al.] // Nongye Gongcheng Xuebao. 2021. Vol. 37, Issue 10. P. 28–37. doi: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2021.10.004>

23. Effects of Shallow Non-Inversion Tillage on Sandy Loam Soil Properties and Winter Rye Yield in Organic Farming [Электронный ресурс] / M. Hofbauer [et al.] // Soil and Tillage Research. 2022. Vol. 222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105435>

24. Добринов А. В. Методологический подход к современному проектированию сельскохозяйственных машин // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2008. № 80. С. 177–186. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22937775> (дата обращения: 21.02.2022).

25. Джаббаров Н. И., Добринов А. В. Оптимальное проектирование почвообрабатывающих машин с учетом их потребной мощности // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 1. С. 50–62. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46105669> (дата обращения: 21.02.2022).

26. Почвообрабатывающая фреза с адаптацией работы : патент 2000945 Российская Федерация / Безруков А. В., Наумкин Н. И., Купряшкин В. Ф. № 2020129321 ; заявл. 04.09.2020 ; опубл. 20.11.2020, Бюл. № 32. 2 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44370020> (дата обращения: 21.02.2022).

27. Безруков А. В., Наумкин Н. И. Способы адаптации режимов работы почвообрабатывающих фрез // Сельский механизатор. 2022. № 3. С. 22–23. URL: <http://selmech.msk.ru/322.html> (дата обращения: 21.02.2022).

Поступила 05.07.2022; одобрена после рецензирования 22.09.2022; принята к публикации 29.09.2022

Об авторах:

Безруков Анатолий Владимирович, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8511-2743>, Researcher ID: N-5459-2016, bezrukow157@yandex.ru

Наумкин Николай Иванович, и.о. заведующего кафедрой основ конструирования механизмов и машин Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), доктор педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1109-5370>, ResearcherID: L-4643-2018, naumn@yandex.ru

Купряшкин Владимир Федорович, заведующий кафедрой мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7512-509X>, ResearcherID: L-5153-2018, kupwf@mail.ru

Купряшкин Владимир Владимирович, аспирант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5327-4089>, kupvovan@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

А. В. Безруков – литературный и патентный анализ, проведение лабораторных исследований, обработка результатов эксперимента, подготовка начального варианта текста, визуализация.

Н. И. Наумкин – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, формирование выводов, доработка текста.

В. Ф. Купряшкин – формулирование основной концепции исследования, формирование выводов, критический анализ.

В. В. Купряшкин – литературный и патентный анализ, обработка результатов теоретических исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Tarchokov H.S., Bzhinaev F.H. Agrotechnology in Fight against Weeds. *Innovations and Food Safety*. 2018;(4):46–50. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2018-0-4-46-50>
2. Gureev I.I. Environmental Safety of Complex Mechanization of Agricultural Crops Cultivation Technologies. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019;33(5):62–64. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10515>
3. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Ecologically Safe Operation of Technical Facilities in Conditions of Physical Degradation of Soil. *Machinery Technical Service*. 2019;(2):40–46. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38537510> (accessed 21.06.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

4. Savelev Yu.A., Kuharev O.N., Larjushin N.P., et al. Soil Moisture Loss Reduction Owing to Evaporation. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018;12(1):42–47. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47>
5. Nikolayev V.A., Troshin D.I. Continuous Action Right Knife Unit with Ground Interaction Analysis. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020;17(4):452–463. doi: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-452-463>
6. Starovoytov S.I., Akhalaya B.Kh., Mironova A.V. Design Features of Working Tools for Soil Surface Compaction and Leveling. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019;(4):51–56. Available at: https://vestnik.viesh.ru/wp-content/uploads/2020/01/ВИЭСХ_4_2019.pdf (accessed 27.06.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
7. Babitsky L.F., Sobolevsky I.V., Kuklin V.A. Bionic Modelling of the Working Bodies of Machines for Surface Tillage. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 488. 2020. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012041>
8. Bezrukov A.V., Naumkin N.I., Kupryashkin V.F. Automation of Self-Propelled Cutter Operation Modes. *Selskiy mekhanizator*. 2019;(2):6–7. Available at: <http://selmech.msk.ru/219.html#> (accessed 21.06.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
9. Knyaz'kov A.S., Naumkin N.I., Kupryashkin V.F. Improvement of the Operating Effect of Small Self-Propelled Rotary Tillers by Using Adaptive Ower Efficient Tools. *Mordovia University Bulletin*. 2014;(1):186–194. Available at: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/ru/articles/38-14-12/213-10-15507-vmu-025-201502-72> (accessed 21.06.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
10. Kupryashkin V.F., Naumkin N.N., Knyazkov A.S., et al. Justification for Parameters of a Dynamic Stabilizer of the Experimental Stand Mobile Unit in Studying of Active Rotational Working Tools of Tiller Machines. *Mordovia University Bulletin*. 2017;27(1):52–66. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201701.052-066>
11. Kupryashkin V.F., Naumkin N.I., Kupryashkin V.V. Stability of Motion of Mobile Module of Experimental Setup in the Study of Active Rotary Working of Machines for Soil Treatment. *Mordovia University Bulletin*. 2016;26(2):246–258. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201602.246-258>
12. Guan C., Fu J., Xu L., et al. Study on the Reduction of Soil Adhesion and Tillage Force of Bionic Cutter Teeth in Secondary Soil Crushing. *Biosystems Engineering*. 2022;213:133–147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.11.018>
13. He X., Zhang X., Zhao Z., et al. Design and Test of Resistance-Reducing Excavation Device of *Cyperus Edulis* Based on Discrete Element Method. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2021;52(12):124–133. doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.12.013>
14. Zhang T., Li Y., Zhang X., et al. Design and Test of Precision Rotary-Ridging Machine for Sticky Soil. *Agricultural Research in the Arid Areas*. 2022;40(2):250–258. doi: <https://doi.org/10.7606/j.issn.1000-7601.2022.02.30>
15. Zhu H., Qian C., Bai L., et al. Design and Experiments of Active Anti-Blocking Device with Forward-Reverse Rotation. *Nongye Gongcheng Xuebao*. 2022;38(1). doi: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2022.01.001>
16. Hou S., Chen H., Zou Z., et al. Design and Test of Lateral Stubble Cleaning Blade for Corn Stubble Field. *Nongye Gongcheng Xuebao*. 2020;36(2):59–69. doi: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2020.02.008>
17. Zhang X., Wang J., Lao F., et al. Simulation and Optimization of Working Parameters of Stubble Breaking Device in Two Ripening Area of Yumai in North China. In: 2021 ASABE Annual International Virtual Meeting. 2021. doi: <https://doi.org/10.13031/aim.202101112>
18. Wang J., Zhao S., Gao L., et al. Design and Experiment of Passive Disc Cutting Blade in Corn Ridges. *Nongye Jixie Xuebao*. 2021;52(11):59–67. doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.11.006>
19. Wang J., Zhao S., Yang Z., et al. Design and Experiment of Driving Stubble Cutter for Corn Strip with Less Tillage Operation. *Nongye Jixie Xuebao*. 2021;52(8):51–61. doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.08.005>
20. Hou S., Zhu Y., Zhu X., et al. Design and Experiment of Stubble Chopping and Scattering Device Based on 2bmfj-12 No-Tillage Precision Planter. *Applied Engineering in Agriculture*. 2021;37(6):1031–1043. doi: <https://doi.org/10.13031/aea.14738>

21. Wang J., Zhang X., Tang H., et al. Optimal Design and Experiment of Deep-buried Reverse Rotating Sliding Cutting Straw Returning Blade. *Nongye Jixie Xuebao*. 2021;52(11):28–39. doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2021.11.003>
22. Guan C., Cui Z., Gao Q., et al. Design of Biaxial Rotary Tillage Soil Test Bench and Layered Tillage Test. *Nongye Gongcheng Xuebao*. 2021;37(10):28–37. doi: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2021.10.004>
23. Hofbauer M., Bloch R., Bachinger J., et al. Effects of Shallow Non-Inversion Tillage on Sandy Loam Soil Properties and Winter Rye Yield in Organic Farming. *Soil and Tillage Research*. 2022;222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105435>
24. Dobrinov A.V. [Methodological Approach to Modern Agricultural Machine Design]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2008;(80):177–186. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22937775> (accessed 21.02.2022). (In Russ.)
25. Dzhaborov N.I., Dobrinov A.V. Optimal Designing of Tillage Machines with Due Account for Their Required Power. *AgroEkoInzheneriya*. 2021;(1):50–62. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46105669> (accessed 21.02.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
26. Bezrukov A.V., Naumkin N.I., Kupryashkin V.F. [Soil Tillage Cutter with Work Adaptation]. Patent 2,000,945 Russian Federation. 2020 November 20. 2 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44370020> (accessed 21.02.2022). (In Russ.)
27. Bezrukov A.V., Naumkin N.I. Ways to Adapt the Operating Modes of Tillage Cutters. *Selskiy mekhanizator*. 2022;(3):22–23. Available at: <http://selmech.msk.ru/322.html> (accessed 21.02.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

Submitted 05.07.2022; approved after reviewing 22.09.2022; accepted for publication 29.09.2022

About the authors:

Anatoliy V. Bezrukov, Associate Professor of the Chair of Basic Design of Mechanisms and Machines, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8511-2743>, Researcher ID: N-5459-2016, bezrukow157@yandex.ru

Nikolay I. Naumkin, Acting Head of the Chair of Basic Design of Mechanisms and Machines, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Dr.Sci. (Ped.), Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1109-5370>, Researcher ID: L-4643-2018, naumn@yandex.ru

Vladimir F. Kupryashkin, Head of the the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7512-509X>, Researcher ID: L-5153-2018, kupwf@mail.ru

Vladimir V. Kupryashkin, Postgraduate Student of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5327-4089>, kupvovan@mail.ru

Contribution of the authors:

A. V. Bezrukov – analyzing academic literature and patents, conducting laboratory research, processing experimental results, preparing the initial version of the text, visualization.

N. I. Naumkin – scientific guidance, formulation of the main research concept, formation of conclusions, finalization of the text.

V. F. Kupryashkin – formulation of the main concept of research, formation of conclusions, critical analysis.

V. V. Kupryashkin – literary and patent analysis, processing of theoretical research results.

All authors have read and approved the final manuscript.