

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Воронежский государственный
аграрный университет имени императора Петра I»
Запорожцева Л.А.
«_____» _____ 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Воронежский государственный
аграрный университет имени императора Петра I»
(ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ)**

Диссертация «Обоснование выбора рационального направления движения сельскохозяйственного агрегата по полю сложной конфигурации» выполнена на кафедре эксплуатации транспортных и технологических машин агроинженерного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

В период подготовки диссертации соискатель Мешкова Светлана Сергеевна была прикреплена для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса в федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

В 2018 году Мешкова С.С. окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» с присуждением квалификации – магистр.

По результатам рассмотрения диссертации «Обоснование выбора рационального направления движения сельскохозяйственного агрегата по полю сложной конфигурации» принято следующее заключение.

Заключение

Актуальность темы

В соответствии с ведомственным проектом «Цифровое сельское хозяйство» на 2019–2024 годы, основной целью которого являются: цифровая трансформация сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в агропромышленном комплексе и достижения роста производительности труда на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях в два раза к 2024 году. В Российской Федерации происходит интенсивное внедрение инновационных решений по возделыванию сельскохозяйственных культур, в том числе с использованием цифровых технологий. При таком развитии отрасли растениеводства увеличиваются урожаи сельскохозяйственной продукции, сокращаются сроки полевых работ. Высокоэффективное управление процессами обработки поля и уборочно-транспортными операциями на основе применения цифровых технологий является перспективным направлением исследований и совершенствования технологий сельскохозяйственного производства.

Сегодня для решения задач рациональной работы сельскохозяйственной техники разрабатываются различные программные продукты, предназначенные для рационального управления производительностью техники при выполнении сельскохозяйственных работ на полевых участках произвольной конфигурации, позволяющие формировать и хранить базы данных координат полевых участков индивидуально для каждого пользователя на основании электронных карт и цифровых паспортов полей.

При планировании обработки поля сложной конфигурации стоит задача определения рационального угла направления движения (угла гона), обеспечивающего минимальное число проходов агрегата, минимальное число разворотов и, как следствие, минимального холостого пути агрегата, экономию затрат на производство сельскохозяйственной продукции.

С 2017 года идет активное внедрение беспилотных тракторов и

сельскохозяйственных дронов, которые позволяют выполнять основные сельскохозяйственные работы без участия оператора. Оператор может дистанционно контролировать работу трактора через компьютер или планшет в режиме реального времени, а также настраивать новые программы работы. Разработчики обращают внимание, что такие тракторы могут работать на одном поле одновременно с другими сельскохозяйственными машинами, управляемыми людьми.

Исследования с использованием элементов интеллектуальных технологий, позволяющие разработать методику аналитического обоснования рационального угла направления движения агрегатов по полю сложной конфигурации, обеспечивающего экономию затрат на производство сельскохозяйственной продукции, являются актуальными.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации заключается в постановке задач исследования, выборе методов, разработке методики исследований, выполнении математических преобразований, получении и реализации на ЭВМ аналитических зависимостей, выполненных лично автором; разработке компьютерной программы для определения рационального направления движения агрегата по полю заданной конфигурации, проведении экспериментов, формулировке выводов, подготовке публикаций по теме диссертации, выполненных при участии автора.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена: численной реализацией аналитических зависимостей, использованием апробированных методов исследования, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, применением сертифицированного оборудования, современных компьютеров и программного обеспечения, результатами внедрения в производство.

Результаты диссертационных исследований используются в УНТЦ «Агротехнология», ООО «АВАНГАРД-АГРО-Воронеж», СХП «Рамонское-1», а также в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 «Агроинженерия» и магистров по направлению 35.04.06 «Агроинженерия», что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Основные положения и результаты диссертации докладывались и

обсуждались на международной научной конференции, посвященной 125-летию со дня рождения В.С. Немчинова в 2020 г., г. Москва; II Международной научно-технической конференции «Smart Energy Systems 2021» в 2021 г., г. Казань; конференции «Цифровые технологии в сельском хозяйстве Российской Федерации и мирового сообщества» в 2021 г., г. Ставрополь, а также на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ в 2019–2024 годах.

Научная новизна результатов проведенных исследований

Результаты диссертационной работы, обладающие научной новизной, заключаются в следующем.

1. Предложена концепция подсистемы управления направлением движения сельскохозяйственных агрегатов по полю сложной конфигурации, отличающаяся наличием элемента искусственного интеллекта.

2. Получены аналитические зависимости для обоснования рационального угла направления движения сельскохозяйственных агрегатов по полю сложной конфигурации, отличающиеся использованием метода многоугольников для представления полей сложной конфигурации и их участков.

3. Выявлены закономерности изменения величины холостого пути от угла подхода агрегата к границе поля сложной конфигурации, отличающиеся учетом параметров полей сложной конфигурации при их представлении методом многоугольников.

4. Разработаны алгоритм и компьютерная программа для обоснования рационального угла направления движения сельскохозяйственных агрегатов по полю сложной конфигурации, отличающиеся учетом параметров полей сложной конфигурации.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанные алгоритм и компьютерная программа (свидетельство о регистрации программы № 2023610894) для обоснования рационального угла направления движения сельскохозяйственных агрегатов по полю сложной конфигурации позволяют обосновать рациональную схему движения агрегата при планировании сельскохозяйственных работ и тем самым обеспечить эффективное использование машинно-тракторного парка.

Диссертация выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-316-90039: «Разработка интеллектуальной системы управления сельскохозяйственным производством и программно-аппаратного комплекса для высокопроизводительных расчетов по прогнозированию потребности и потреблению ресурсов в онлайн режиме (на примере выполнения уборочно-транспортных процессов в сельском хозяйстве)» (код конкурса: «Аспиранты»), а также в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», п. 2.1 «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации производства продукции растениеводства», которая утверждена ученым советом университета (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные аналитические зависимости позволяют при планировании и в процессе выполнения сельскохозяйственных работ обосновать рациональный угол направления движения агрегата по полю сложной конфигурации.

Соответствие диссертации требованиям, установленным пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней

В диссертации отсутствуют заимствованные материалы без ссылок на источники заимствования, результаты научных работ, выполненные соискателем в соавторстве, без ссылок на соавторов, а следовательно, соблюдены требования пункта 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842.

Научная специальность и отрасль науки, которым соответствует диссертация

Диссертационное исследование относится к пункту 12 «Цифровые интеллектуальные технологии, автоматизированные и роботизированные технические средства для агропромышленного комплекса» паспорта специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для

агропромышленного комплекса (технические науки).

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Работы, представленные в публикациях, в полной мере отражают изложение материалов диссертации, так как подготовлены на основе выполненных соискателем исследований в процессе работы над диссертацией.

Результаты исследований отражены в 13 научных статьях, в том числе четыре статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций; получено одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Публикации в рецензируемых научных изданиях

1. Моделирование процессов функционирования транспортных и технологических машин на примере уборки зерновых культур / Пухов Е.В., Астанин В.К., Следченко В.А., **Мешкова С.С.**, Волков В.С. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 3(62). С. 19-25.

2. **Мешкова С.С.** Разработка имитационной модели движения сельскохозяйственных агрегатов на поле / Е.В. Пухов, С.С. **Мешкова**, С.С. Кочкин // Международный технико-экономический журнал. 2022. Т. 84. № 3. С. 26–36

3. **Мешкова С.С.** Результаты моделирования и оценка эффективности движения транспортно-технологических машин на поле / Е.В. Пухов, С.С. **Мешкова** // Вестник НГИЭИ. 2022. № 9(136). С. 53-64.

4. **Мешкова С.С.** Обоснование рациональных способов перемещения сельскохозяйственных агрегатов на поле сложной конфигурации / В.К. Астанин // Вестник НГИЭИ. 2023. № 9(148). С. 7-15.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа для определения оптимальной схемы движения агрегата по полю заданной конфигурации / Е.В. Пухов, С.С. **Мешкова**, В.В. Посметьев; правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». 2023610894, 16.01.2023 г. Заявка № 2023610299 от 16.01.2023 г.

Статьи в материалах конференций, сборниках и научных журналах

6. **Мешкова С.С.** Обзор цифровых технологий и систем управления сельскохозяйственным производством / В. К. Астанин, **С. С. Мешкова** // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 23 мая 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 73-78.

7. **Мешкова С.С.** Обзор существующих рекомендаций по обработке сельскохозяйственных полей сложной конфигурации на различных операциях / В. К. Астанин, **С. С. Мешкова** // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 марта – 28 2023 года. Том Часть V. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 349-352.

8. **Мешкова, С. С.** Российские аналоги цифровых технологий в сельском хозяйстве / **С. С. Мешкова**, Н. С. Лымарь, М. А. Тишковский // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 110-летию ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Воронеж, 10–11 ноября 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2022. – С. 278-282.

9. Системы навигации ГЛОНАСС в сельском хозяйстве. Преимущества использования / **С. С. Мешкова**, Е. Г. Аннакурбанова, В. В. Фукс, В. А. Следченко // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 110-летию ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Воронеж, 10–11 ноября 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2022. – С. 282-285.

10. **Мешкова С.С.** Оценка схем перемещения сельскохозяйственных агрегатов на поле / Е.В. Пухов, **С.С. Мешкова**, С.С. Кочкин // В сборнике: Тенденции развития технических средств и технологий в АПК. Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией

О.М. Костикова, А.В. Божко. Воронеж, 2021. С. 89-94.

11. **Мешкова С.С.** Пути снижения потерь рабочего времени сельскохозяйственной техники при проведении сельскохозяйственных работ / Е.В. Пухов, **С.С. Мешкова**, В.А. Следченко // В сборнике: Доклады ТСХА. 2020. С. 264-267.

12. **Мешкова С.С.** Повышение эффективности уборочно-транспортных работ при уборке зерновых культур / Е.В. Пухов, В.А. Следченко, Д.Н. Лавренов, **С.С. Мешкова** // В сборнике: Доклады ТСХА. 2019. С. 11-14.

13. **Мешкова С.С.** Перспективы использования информационных технологий в транспортных процессах сельскохозяйственного производства / Е.В. Пухов, В.А. Следченко, **С.С. Мешкова** // В сборнике: Автотранспортная техника XXI века. сборник статей III Международной научно-практической конференции. Под редакцией О.Н. Дидманидзе, Н.Е. Зиминой, Д.В. Виноградова. 2018. С. 117-123.

Лично автором выполнено 2,35 п.л.

Личное участие заключается: в постановке задач [6, 8, 10, 11, 13], выборе методов [7], разработке методики исследований [1, 9], разработке математических моделей и проведение расчетов [2], обоснование выбора рационального направления движения сельскохозяйственного агрегата по полю сложной конфигурации [3, 4, 5, 12].

Заключение

Концепция подсистемы управления направлением движения сельскохозяйственных агрегатов по полю сложной конфигурации предусматривает в подсистеме элемент искусственного интеллекта, позволяющий работать с базами событий, знаний и формирования решений, способный выбрать из базы знаний, необходимые математические модели, описывающие конфигурацию исследуемого поля, выполнить расчеты, определить рациональный угол направления движения агрегата и передать данные в навигационную систему машины. Полученные при теоретических исследованиях аналитические зависимости позволяют при заданных значениях угла направления движения агрегата, ширины захвата рабочих органов агрегата и геометрических параметров конфигурации поля (длины сторон и углов отклонения границ поля от прямоугольной конфигурации) рассчитать:

- условную ширину поля и участка поля;
- количество проходов агрегата, необходимых для обработки всего поля и участка поля;
- длину одного рабочего прохода агрегата от границы до границы поля с учетом параметров разворота агрегата и геометрических параметров конфигурации поля при подходе агрегата к границе поля под острым углом;
- общую длину рабочего пути агрегата при обработке всего поля, а также трапециевидного и треугольного участков поля;
- суммарную длину холостого пути при обработке поля или участка поля.

Для численной реализации указанных аналитических зависимостей разработаны алгоритм и компьютерная программа, интегрированные в подсистему управления направлением движения сельскохозяйственных агрегатов по полю сложной конфигурации. При подходе агрегата к границе поля под острым углом холостой путь увеличивается по сравнению с обработкой прямоугольного участка поля на величину недобега агрегата до границы поля. Полученные зависимости угла подхода агрегата к границе поля от угла направления движения агрегата и угла отклонения границы поля от прямоугольной конфигурации позволяют вычислить рациональное значение угла подхода агрегата к границе поля при планировании сельскохозяйственных работ. Отклонение результатов расчета по предложенным формулам от условной ширины поля для заданных углов линий гона агрегата, полученных измерением параметров геометрической модели поля, не превышает 2 %, а при полевых испытаниях – 10,2 %. Применение предложенных решений позволяет повысить производительность сельскохозяйственных агрегатов при возделывании сельскохозяйственных культур за счет выбора рационального направления движения агрегата и более точного согласования работы технологических и транспортных средств до 7 % и обеспечивает годовой экономический эффект:

- при предпосевной культивации (площадь поля 147 га) – 23814 руб.;
- при скашивании травы (площадь поля 45 га) – 7560 руб.

Целесообразно рекомендовать алгоритм и компьютерную программу для обоснования рационального направления движения сельскохозяйственного агрегата по полю сложной конфигурации для использования в подсистеме управления направлением движения

сельскохозяйственных агрегатов по полю сложной конфигурации.

Перспективы дальнейшей разработки темы состоят в изучении процессов управления движением сельскохозяйственных агрегатов по полям сложной конфигурации с применением систем навигации, искусственного интеллекта для оптимизации реализуемых технологических процессов по критериям эффективности использования машинно-тракторного парка.

Диссертация «Обоснование выбора рационального направления движения сельскохозяйственного агрегата по полю сложной конфигурации» Мешковой Светланы Сергеевны является научно-квалификационной работой, в которой представлены новые научно-обоснованные технологические решения по обоснованию рационального угла направления движения на полях сложной конфигурации. Результаты исследований позволяют обосновать рациональный угол направления движения агрегата на поле сложной конфигурации и тем самым повысить эффективность работы сельскохозяйственных агрегатов, и имеют существенное значение для развития сельского хозяйства Российской Федерации, что соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, а также к представлению в диссертационный совет по заявленной специальности.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин агроинженерного факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». Присутствовало на заседании 15 человек. Результаты голосования: «за» – 15, «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол от 13.02.2024 г. № 010120-06.

Заведующий кафедрой
эксплуатации транспортных
и технологических машин,
доктор технических наук

Козлов Вячеслав Геннадиевич

