

На правах рукописи



Тарасова Сария Валеевна

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА КУРСОВОЙ
СТАБИЛИЗАЦИИ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ НА НАКЛОННОЙ
ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Оренбург, 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Оренбургский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО ОГАУ).

Научный руководитель: **Ушаков Юрий Андреевич** –
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный
аграрный университет

Официальные оппоненты: **Горшков Юрий Германович** –
доктор технических наук, профессор кафедры
«Безопасность жизнедеятельности»,
ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная
агроинженерная академия»

Гашенко Алексей Александрович –
кандидат технических наук, доцент кафедры
"Трубопроводный транспорт", ФГБОУ ВПО
"Самарский государственный технический
университет"

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»

Защита диссертации состоится 26 июня 2015 г. в 10.00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 220.051.02 при ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» по адресу: 460014, г. Оренбург, ул. Коваленко, д.4 (корпус №3 ОГАУ, инженерный факультет), ауд.500.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Оренбургского государственного аграрного университета. Объявление о защите и автореферат размещены на сайте ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» <http://www.orensau.ru> и на сайте Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки Минобрнауки России <http://www.vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «_____» _____ 2015г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

Шахов В.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Значительные достижения в разработке экспериментально-теоретических вопросов энерговооруженности машинно-тракторного парка не в полной мере удовлетворяют современным запросам сельскохозяйственного производства. Особенно ярко проблемы механизации технологических процессов в АПК проявляются в сфере склонного земледелия, удельный вес которого в общеотраслевом масштабе Оренбургской области составляет 36,3%. Комплексное усовершенствование колёсных тракторов, работающих на склонах, не может быть реализовано без стабилизации траекториального движения, уменьшения сползания и увода его за пределы защитных зон, обоснования инновационных методов курсовой устойчивости. Внесение конструктивных изменений в серийный образец приводит к сложностям формирования процедурной модели процесса внедрения и влечет за собой дополнительные материальные затраты, в связи с чем наиболее целесообразной на сегодняшний день является локальная модернизация серийных тракторов в условия производственной специфики сельскохозяйственных предприятий. Фактически, на исследовательском уровне, актуализируется **проблема обоснования режима движения колесных машин при реализации сельскохозяйственных операций на наклонных опорных поверхностях**. Настоящая постановка проблемы достоверна и является следствием результата анализа резерва технологичности, определяющего функциональный потенциал исследуемых колёсных тракторов.

Работа выполнена в рамках программы научных исследований по теме «Разработка высокоэффективных зональных машинных технологий и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции растениеводства» в соответствии с Приказом Минсельхоза РФ от 25.06.2007 № 342 «О концепции развития аграрной науки и научного обеспечения АПК России до 2025 года» и с темой научных исследований ФГБОУ ВПО «Оренбургский ГАУ» № 01201465495 «Методы и технологическая реализация экспериментальных исследований сельскохозяйственной техники».

Степень разработанности темы.

Методологические основы теории устойчивого движения колесных машин для создания теоретических предпосылок при разработке специализированной техники представлены в работах ученых Е.А. Чудакова, Д.А. Антонова, Е.Ю. Ечеистова, В.В. Гуськова, Я.Е. Форобина, Е.Е. Черейского, В.В. Поддубного, Е.М. Асманкина и многих других. Однако, в трудах данных ученых не рассматривается проблема адаптации сельскохозяйственных тракторов к сложным ландшафтными условиям, и особенно на слабых несущих грунтах. Поэтому данная проблема остается открытой как для научно-исследовательских организаций, так и для конструкторских бюро ведущих производителей машин.

Цель исследования. Повышение курсовой устойчивости колесного трактора при работе на негоризонтальной опорной поверхности.

Объект исследования. Процесс курсовой стабилизации колёсного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности.

Предмет исследования. Закономерности, отражающие изменение курсовой устойчивости трактора от величин углов увода шин колёс при движении по наклонной опорной поверхности.

Методика исследований. Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений законов механики, математики и статистики, базировались на методах теории устойчивости движения колёсных машин. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с действующими ГОСТами, опирались на теорию планирования многофакторного эксперимента. Использовались программные продукты Microsoft Excel, MathCAD14, STATISTICA10.

Научная новизна

– закономерности, отражающие влияние углов бокового увода шин на полное поперечное смещение колёсного трактора от технологической траектории при проведении механизированных работ в условиях склонного земледелия;

– методика оценки эффективности энергетических затрат процесса курсовой стабилизации движения колесного трактора на наклонной опорной поверхности;

– методика оценки интенсивности изнашивания элементов шин колесного трактора, эксплуатируемого в различных агроландшафтных условиях и при наличии крюковой нагрузки, для проведения математического эксперимента;

– результаты производственных исследований влияния углов увода шин колёсного трактора на курсовую устойчивость.

Практическая ценность

– предложены закономерности определения величины полного поперечного смещения машинно-тракторного агрегата (МТА) от технологической траектории на наклонной опорной поверхности;

– разработан коэффициент оценки эффективности внедрения предлагаемого способа курсовой стабилизации колёсного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности;

– обосновано влияние углов увода на интенсивность изнашивания элементов шин колесного трактора при реализации сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности;

– разработано программно-аналитическое обеспечение исследования процесса интенсивности изнашивания протектора шин в условиях варьирования углов увода шин на наклонных опорных поверхностях.

Вклад автора в проведённое исследование. Разработана математическая модель компенсации полного поперечного смещения мобильной машины за счет варьирования углов увода при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности. Получена функциональная зависимость движения машинно-тракторного агрегата в технологическом коридоре и определена функция интенсивности износа шин в процессе стабилизации курс-

сового движения. Проведены производственные эксперименты и дано технико-экономическое обоснование внедрения разработанного способа курсовой стабилизации колёсного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности

Внедрение. Научно-методические материалы по обоснованию способа стабилизации курсового движения колёсной машины используются в учебном процессе инженерного факультета Оренбургского ГАУ при изучении курса «Теория трактора и автомобиля». В ОАО «Дружба» Кувандыкского района Оренбургской области проведены производственные испытания предложенного способа в диссертации и внедрены результаты научно-исследовательской работы.

Апробация. Основные положения диссертационной работы представлены, обсуждены и одобрены на Всероссийской заочной научно-практической конференции «Инновационные научные решения – основа модернизации аграрной экономики» (Пермь, 2011), международной научно-практической конференции «Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК» (Оренбург, 2014), IV международной научно-практической конференции «Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса» (Новокузнецк, 2014), международной заочной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке и образовании» (Москва, 2015), IV международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий» (Саратов, 2015).

Положения, выносимые на защиту

1. Теоретическое обоснование компенсации полного поперечного смещения колесного трактора от технологической траектории при движении по негоризонтальной опорной поверхности за счет использования инновационного способа курсовой стабилизации положения движущегося тягового средства.

2. Методика оптимизации режима варьирования углов увода шин.

3. Результаты производственных исследований процесса смещения экспериментального МТА от технологической траектории в различных ландшафтных условиях при реализации способа курсовой стабилизации колёсного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности.

4. Результаты технико-экономического обоснования внедрения предлагаемого способа.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается высоким уровнем сходимости теоретических и производственных результатов исследований величины смещения МТА от технологической траектории при выполнении механизированных работ на наклонных опорных поверхностях.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 работ, из них 7 в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ. Получено свидетельство на программу для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и библиографического списка использованной литературы из 124 наименования и приложений. Работа изложена на 143 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунка, 9 таблиц и 6 приложений. Общий объем диссертации составляет 158 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена актуальность темы, обозначена проблема, определены объект и предмет исследования, научная новизна и практическая ценность исследований.

В главе 1 «Анализ проблемы курсовой устойчивости колесных машин при выполнении технологических операций в условиях склонного земледелия» определены современные тенденции развития технологичности мобильных энергетических средств в АПК, исследованы направления теоретического анализа динамики колесных машин на негоризонтальной опорной поверхности, проведен анализ средств и технических решений вопросов устойчивости движения колесных тракторов.

Рассмотрена ландшафтная специфика земельных угодий в аграрном секторе Оренбургской области. В северной зоне равнины и склоны до 3° занимают 57,15% территории, склоны $3 - 10^{\circ} - 42,04\%$, более $10^{\circ} - 0,81\%$. В центральной зоне 66,4% пахотных земель расположены на склонах до 7° , 33,6% имеют уклон 7° и выше. Из общей площади сельхозугодий западной зоны на склонах до 7° расположено 92,21%, с уклонами более 7° – остальная часть пашни. В восточной зоне пологие и слабопокатые склоны от 1 до 7° занимают 92,25%, склоны крутизной более 7° и выше – 7,75%.

Существующие методы стабилизации движения машин, относящиеся к актуальным направлениям в области обоснования закономерности функционирования механизированных технологий, позволяющих обеспечить рост эффективности производства продуктов растениеводства, не полностью решают проблемы устойчивого движения машинно-тракторных агрегатов на наклонных опорных поверхностях. В связи с этим, в данной работе были определены задачи исследования.

Задачи диссертационного исследования

1. Исследовать влияние конструктивно-режимных параметров колёсного трактора и ландшафтных факторов на процесс полного поперечного смещения движущегося МТА от технологического коридора в условиях склонного земледелия.

2. Разработать метод оптимизации углов увода шин пневматических колёс адекватно компенсации полного поперечного смещения трактора от заданной траектории при выполнении работ в растениеводстве.

3. Исследовать зависимость интенсивности износа протектора пневматической шины движущегося трактора по наклонной опорной поверхности от его конструктивно-режимных параметров с учётом крюковой нагрузки.

4. Разработать алгоритм и компьютерную программу для реализации математического эксперимента при исследовании характеристик надежности ра-

бочих элементов протектора, взаимодействующих с наклонной опорной поверхностью.

5. Провести производственные испытания колёсного трактора при его работе в режиме варьирования углов увода шин и дать экономическое обоснование целесообразности внедрения предлагаемого способа.

В главе 2 «Теоретическое обоснование способа повышения устойчивости движения колёсного трактора в технологическом коридоре» получена, во-первых, функция, определяющая величину полного поперечного смещения, выраженная суммированием смещений, вызванных боковым уводом колес и скольжением МТА по наклонной опорной поверхности (рис. 1):

$$l_{полн} = l_{ск} + l_{ув.н}^{неод.н}, \quad (1)$$

где $l_{полн}$ – полное поперечное смещение трактора от заданной траектории, м;

$l_{ск}$ – смещение, вызванное поперечным скольжением трактора по опорной поверхности, м;

$l_{ув.н}^{неод.н} = L_{пр} \cdot tg \delta$ – смещение, вызванное углами увода трактора при его недостаточной поворачиваемости, м;

$L_{пр}$ – длина прямолинейной траектории, м;

δ – угол увода центра тяжести машины, рад.

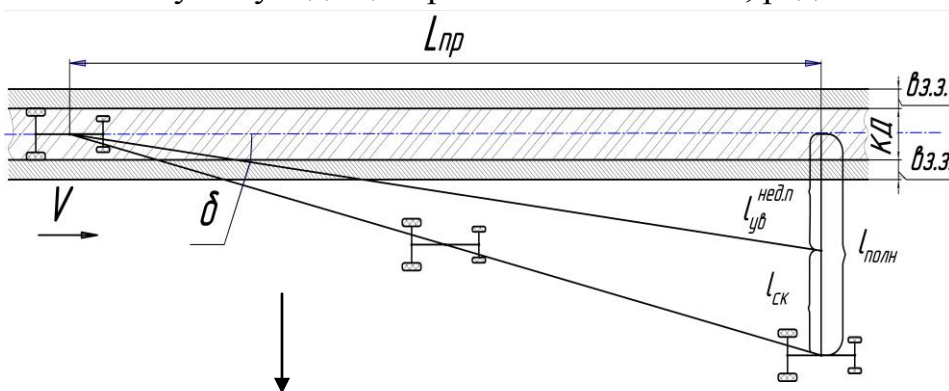


Рис. 1 – Схема смещения трактора от технологической траектории: $вз.з.$ – ширина защитной зоны; КД – ширина коридора движения; \downarrow – градиент склона

Во-вторых, для обоснования способа курсовой стабилизации колесного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности проанализирован процесс поворота машины на плоскости, при котором возникает центробежная сила, создающая углы бокового увода в пневматических шинах. Аналогичное явление можно наблюдать при движении машины на склоне, где роль центробежной силы будет выполнять составляющая силы тяжести при условии реализации бесконечно большого радиуса поворота, чем и является технологическая траектория. При конструктивном исполнении ходовой части с излишней поворачиваемостью (углы увода задних колес δ_2 больше углов увода передних колес δ_1) центр поворота (точка О) машины располагается выше по склону, что позволяет осуществить поворот вверх, и тем самым компенсировать поперечное смещение вызванное скольжением (рис. 2). В данном случае будет отсутствовать смещение машины, заданное углами увода колёс при условии её недостаточной поворачиваемости (углы увода да колёс

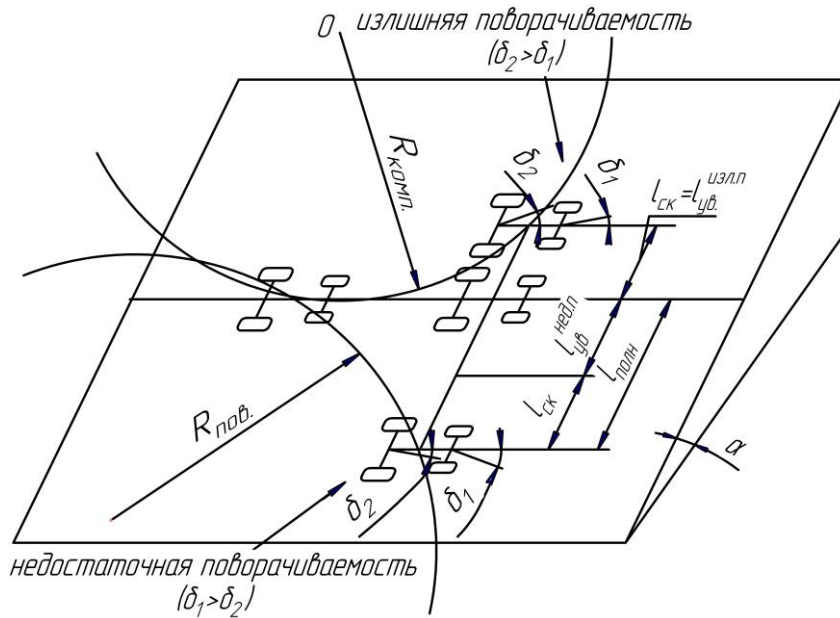


Рис. 2 – Схема компенсации смещения колесной машины от технологической траектории: $R_{\text{комп.}}$ – компенсационный радиус; α – угол склона $R_{\text{пов.}}$ – радиус поворота

при условии её недостаточной поворачиваемости (углы увода передних колес δ_1 больше углов увода задних колес δ_2), т.е. $l_{\text{ув}}^{\text{неод.н}} = 0$.

Необходимо отметить, что изменение вида поворачиваемости находится в прямой зависимости от величин углов увода пневматических шин δ_1 , δ_2 , которые, в свою очередь, являются функциями от внутришинного давления p_w и угла наклона опорной поверхности α .

Для стабилизации курсового движения колесного трактора на технологической траектории необходимо соблюдение следующего аналитического условия:

$$l_{\text{ск}} = l_{\text{ув}}^{\text{изл.н}} = l_{\text{полн}}, \quad (2)$$

где $l_{\text{ув}}^{\text{изл.н}}$ – смещение, вызванное углами увода трактора при его излишней поворачиваемости, м.

Приоритетным рассматривалось установление математической зависимости, определяющей смещение (м), которое вызвано углами увода трактора при его излишней поворачиваемости (рис. 3):

$$(l_{\text{ув}}^{\text{изл.н}})^2 = w^2 - L_{\text{пр}}^2, \quad (3)$$

где $L_{\text{пр.}} = R_{\text{комп.}} + NB$ – длина прямолинейной траектории, м;

$$|NB| = \frac{|AB| \cdot \text{tg} \delta_2}{(\text{tg} \delta_2 - \text{tg} \delta_1)} - |BC| \text{ – длина отрезка, м;}$$

$$R_{\text{комп.}} = \sqrt{\left(\frac{AC \cdot (\text{tg} \delta_2 - 1) \text{ctg} \delta_1}{(\text{tg} \delta_2 - \text{tg} \delta_1)} \right)^2 + \left(\frac{AC \cdot \text{tg} \delta_2}{(\text{tg} \delta_2 - \text{tg} \delta_1)} - BC \right)^2} \text{ – компенсационный радиус, м;}$$

$$w = 2 \cdot R_{\text{комп.}} \cdot \sin \left(\frac{\pi/2 + \delta}{2} \right) \text{ – длина хорды окружности поворота трактора вверх}$$

при условии излишней поворачиваемости, м.

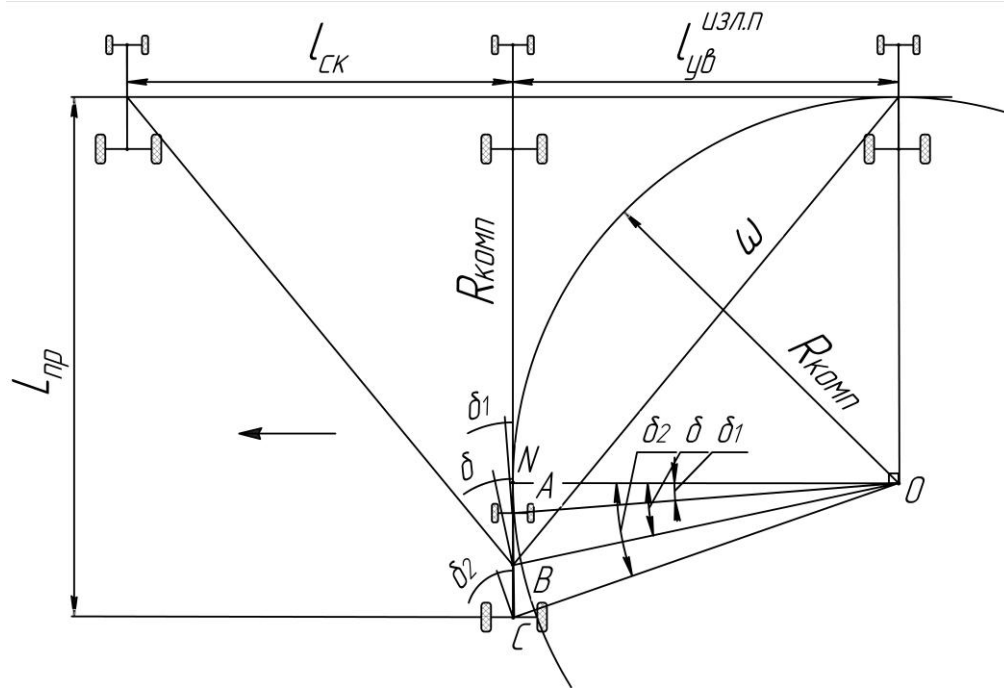


Рис. 3 – Схема компенсационного смещения трактора: В – центр тяжести машины; А, С – точки центра соответственно передней и задней осей; N – точка пересечения нормали, проведенной из центра поворота машины на ось коридора движения; ← – градиент склона

В результате проведения математических преобразований получили смещение, вызванное углами увода трактора при его излишней поворачиваемости:

$$l_{ув}^{изв.н} = l_{полн} = l_{ск} = \sqrt{2 \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{AC(tg\delta_2 - 1)ctg\delta_1}{(tg\delta_2 - tg\delta_1)} \right)^2 + \left(\frac{AC \cdot tg\delta_2}{(tg\delta_2 - tg\delta_1)} - BC \right)^2} \cdot \sin \left(\frac{\pi + \delta}{2} \right) \right)^2 - \left(\sqrt{\left(\frac{AC(tg\delta_2 - 1)ctg\delta_1}{(tg\delta_2 - tg\delta_1)} \right)^2 + \left(\frac{AC \cdot tg\delta_2}{(tg\delta_2 - tg\delta_1)} - BC \right)^2} + \left(\frac{AC \cdot tg\delta_2}{(tg\delta_2 - tg\delta_1)} - BC \right) \right)^2} \quad (4)$$

С целью определения угла увода центра тяжести машины δ , рассмотрена система равенств (рис. 4):

$$\begin{cases} |AB| + |BC| = |AC| \\ |NO| \cdot tg\delta_2 - |NO| \cdot tg\delta = |BC| \\ |NO| \cdot tg\delta - |NO| \cdot tg\delta_1 = |AB| \end{cases} \quad (5)$$

После проведения математических преобразований получили величину угла увода центра тяжести машины, рад:

$$\delta = arctg \frac{|AB| \cdot tg\delta_2 + |BC| \cdot tg\delta_1}{|AB| + |BC|} \quad (6)$$

Для реализации способа предлагается варьирование значений угла увода передних колёс при постоянном наибольшем значении углов увода задних колёс, что соответствует условию излишней поворачиваемости. Это упрощает реализацию предлагаемого способа в техническом аспекте. Кроме того, при наличии крюкового сопротивления нагрузка распределяется в основном на задние

колёса, что делает непрактичной реализацию перепада внутришинного давления в них.

В-третьих, для создания адекватного смещения трактора вверх были исследованы углы увода передних и задних колёс δ_1, δ_2 (рис. 5) в различных технологических условиях посредством функций, представляющих возможность выражения значений данных углов без дополнительных экспериментальных исследований конкретных типов шин, основываясь на значениях коэффициентов аппроксимации характеристик их бокового увода. Делался акцент на параметрические характеристики трактора МТЗ-82.1, оборудованного шинами на передних колёсах 11,2-20 модели Ф-35-1 и задних колёсах 15,5R38 модели Ф-2А:

$$\delta_1 = \frac{G \cdot \sin \alpha}{C_1 + C_2 \cdot p_{\omega 1} \cdot G \cdot \cos \alpha}, \quad (7)$$

$$\delta_2 = \frac{G \cdot \sin \alpha}{C_1 + C_2 \cdot p_{\omega 2} \cdot G \cdot \cos \alpha}, \quad (8)$$

где G – вес трактора, Н;

α – угол склона, рад;

C_1 – коэффициенты аппроксимации характеристик бокового увода шин, Н;

C_2 – коэффициенты аппроксимации характеристик бокового увода шин, Па⁻¹;

p_{ω} – давление воздуха в шине, Па.

Условия функционирования пропашных тракторов в технологических процессах сельскохозяйственного производства предусматривают проведение работ на склонах до 20° . В связи с этим рассматривались интервалы полученных углов увода на склонах от 5 до 20° . Из графиков видно, что интервалы изменения углов бокового увода задних колёс значительно меньше, чем в передних колесах, что подтверждает еще раз о нецелесообразности дальнейших исследований эффективности изменения давления в задних шинах. Кроме того, увеличение буксования, влияющее на интенсивность изнашивания шин, прямо пропорционально углам бокового увода колёс, которые не должны превышать допустимое значение 15° . В связи с этим необходимо подбирать внутришинное

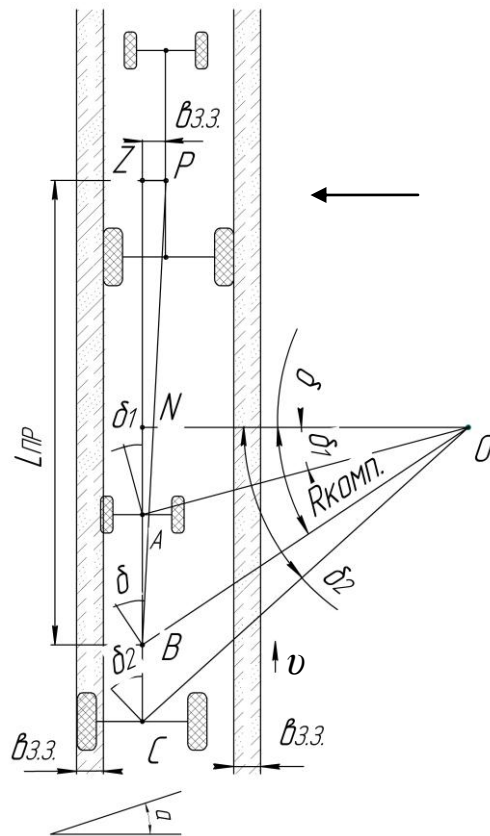


Рис. 4 – Схема поворота машины на склоне при реализации излишней поворачиваемости: v – вектор скорости; \leftarrow – градиент склона

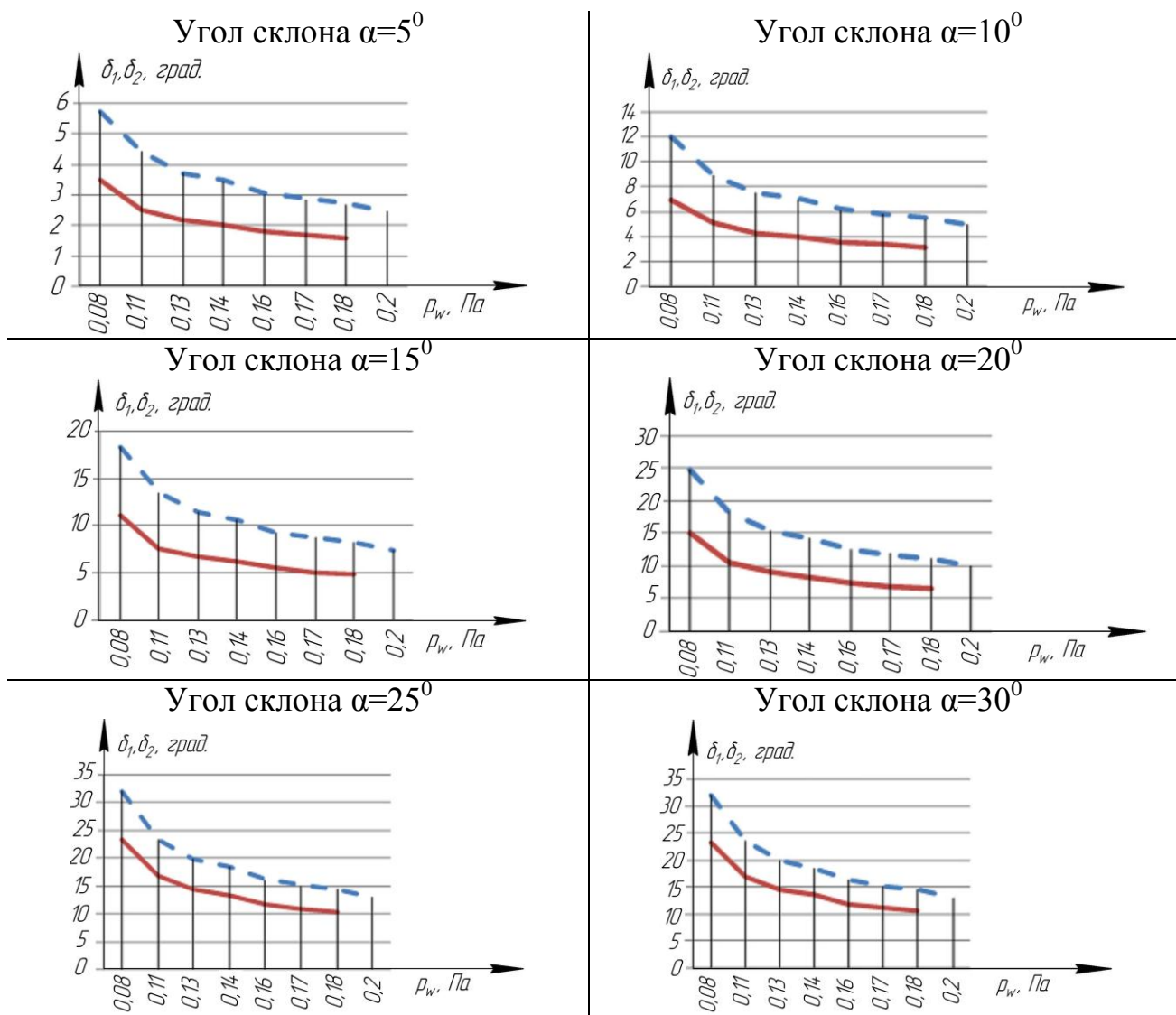


Рис. 5 – Зависимость углов бокового увода колес шин 11,2-20 модели Ф-35-1 и 15,5R38 модели Ф-2А от внутришинного давления на различных склонах: - - - – угол бокового увода δ_1 шины 11,2-20 модели Ф-35-1, град.; — – угол бокового увода δ_2 шины 15,5R38 модели Ф-2А, град.

давление в колёсах, чтобы соблюдалось условие излишней поворачиваемости и углы увода колес не превышали значение 15° .

В-четвертых, согласно предложенному способу трактор должен реагировать на изменения углов склона в любой момент времени. Функцию движения трактора с учётом реальных агроландшафтных условий и варьирование углов увода в координатной форме представили системой уравнений (рис. 6):

$$\begin{cases} x = v \cdot \cos \left(\arctg \frac{|AB| \cdot \operatorname{tg} \delta_2 + |BC| \cdot \operatorname{tg} \delta_1}{|AB| + |BC|} \right) \cdot t \\ y = \left(v \cdot \sin \left(\arctg \frac{|AB| \cdot \operatorname{tg} \delta_2 + |BC| \cdot \operatorname{tg} \delta_1}{|AB| + |BC|} \right) - \frac{l_{cx} \cdot v \cdot \operatorname{tg} \delta}{B_{3,3}} \right) \cdot t, \end{cases} \quad (9)$$

где t – время движения трактора по склону во время выполнения с.-х. операций, с;

$v_x = v \cdot \cos \delta$ – скорость трактора по оси коридора движения, м/с;

$v_y = v \cdot \sin \delta - v_{ск}$ – скорость трактора по нормали к оси коридора движения, м/с;

$v_{ск} = \frac{l_{ск} \cdot v \cdot \operatorname{tg} \delta}{B_{3,3}}$ – скорость

скольжения трактора по нормали к оси коридора движения, м/с.

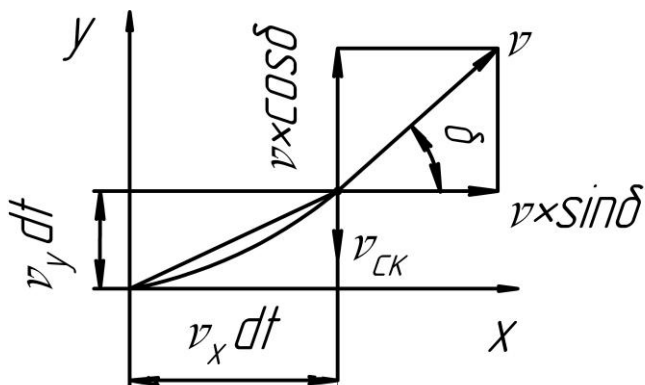


Рис. 6 – Схема движения трактора в координатной форме: v – абсолютная скорость движения трактора во время выполнения сельскохозяйственных операций, м/с

В-пятых, эффективность внедрения способа стабилизации положения движущегося колёсного транспортного средства на наклонной опорной поверхности, с энергетической точки зрения, предложено определять коэффициентом внедрения предлагаемого способа (рис. 7):

$$K = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{S_P - S_{п.с}}{S_P} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\int_0^t \psi \cdot \sin(t)' dt - \int_0^t y(t) \cdot x'(t) dt}{\int_0^t \psi \cdot \sin(t)' dt}, \quad (10)$$

где $S_{п.с} = \int_0^t y(t) \cdot x'(t) dt$ – площадь, описанная траекторией движения машины на склоне с применением предлагаемого способа, которая определяется посредством закона движения (10), м²;

$S_P = \int_0^t \psi \cdot \sin t \cdot \omega(t)' dt$ – площадь, описанная реальной траекторией движения машины на склоне, м²;

$\psi = 0,5KD$ – величина, равная половине ширины коридора движения, м;

ω – частота воздействия оператора на рулевой механизм, с⁻¹.

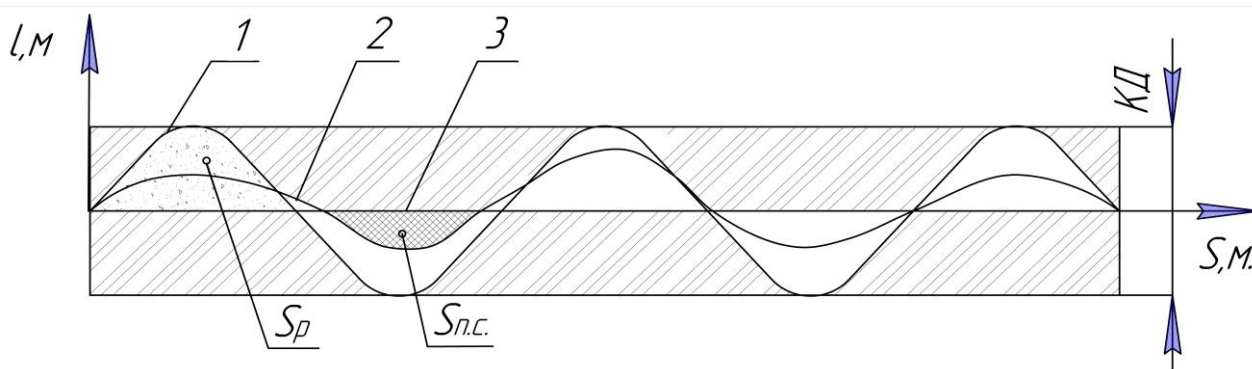


Рис. 7 – Виды траекторий движения колёсной машины: 1 – реальная технологическая траектория движения трактора; 2 – траектория движения трактора полученная с помощью применения предлагаемого способа; 3 – идеальная траектория ($S_{и}=0$)

В случае движения колесной машины по идеальной траектории коэффициент K имеет максимальное значение, равное 1, а при перемещении трактора по реальной траектории данный коэффициент стремится к 0.

Глава 3 «Методика исследования по обоснованию эксплуатационных требований к режиму варьирования углов увода шин». Согласно предложенному способу углы увода задних колёс (δ_2) должны иметь наибольшее допустимое значение, а углы увода передних колёс (δ_1) изменяться относительно величины заброса машины вверх, поэтому возникает дополнительный износ в передних колесах, что могло привести к снижению надежности эксплуатируемого трактора. Была принята во внимание методика определения интенсивности изнашивания шин, взаимодействующих с горизонтальными опорными поверхностями, предложенная В.П. Бойковым. Данную методику адаптировали для исследования износа шин колесного трактора при работе на склоне и с учетом крюковой нагрузки. При этом опирались на методику, предложенную Р. Хедекелем, позволяющую определять нормальный прогиб шины. Принимали во внимание способ определения длины пятна контакта, полученного в результате исследований, выполненных на базе ОАО «Научно-исследовательский тракторный институт». Учитывали функцию среднего номинального давления в пятне контакта шины с опорной поверхностью относительно координатного расположения пневматической шины относительно центра тяжести машины и действия крюковой нагрузки (рис. 8).

Получено уравнение интенсивности изнашивания протектора на единицу длины пути пневматического колеса в условиях склонного земледелия и при наличии крюковой нагрузки:

$$I = \frac{2 \cdot K_{II} \cdot N_i \cdot \mu_{mp} \cdot G \cdot \sin \alpha}{r_k \cdot e_{п.к} \cdot \pi^2 (C_1 + C_2 \cdot p_{\omega} \cdot G \cdot \cos \alpha)}, \quad (11)$$

где μ_{mp} – коэффициент трения резины о грунт;

r_k – радиус качения колеса, м;

$e_{п.к}$ – ширина пятна контакта колеса, м;

K_{II} – коэффициент истирающей способности грунта;

N_i – составляющая нормальной силы i -го колеса.

Уравнения составляющих нормальной силы с учетом крюковой нагрузки:
– составляющая нормальной силы правого переднего колеса равна, Н:

$$N_{П.П.К} = 0,4 \cdot G \left(\frac{\cos \alpha}{2} + \frac{h}{B} \sin \alpha \right) - \frac{P_{кр} \cdot (h_{кр} \cdot \sin \tau + \cos \tau \cdot (m - 0,4l))}{2l}; \quad (12)$$

– составляющая нормальной силы правого заднего колеса, Н:

$$N_{П.З.К} = 0,6 \cdot G \left(\frac{\cos \alpha}{2} + \frac{h}{B} \sin \alpha \right) + \frac{P_{кр} \cdot (h_{кр} \cdot \sin \tau + \cos \tau \cdot (m - 0,6l))}{2l}; \quad (13)$$

– составляющая нормальной силы левого переднего колеса, Н:

$$N_{Л.П.К} = 0,4 \cdot G \left(\frac{\cos \alpha}{2} - \frac{h}{B} \sin \alpha \right) - \frac{P_{кр} \cdot (h_{кр} \cdot \sin \tau + \cos \tau \cdot (m - 0,4l))}{2l}; \quad (14)$$

– составляющая нормальной силы левого заднего колеса, Н:

$$N_{Л.З.К} = 0,6 \cdot G \left(\frac{\cos \alpha}{2} - \frac{h}{B} \sin \alpha \right) + \frac{P_{кр} \cdot (h_{кр} \cdot \sin \tau + \cos \tau \cdot (m + 0,6l))}{2l}; \quad (15)$$

где B – ширина колеи колёс, м;

h – высота центра тяжести машины, м;
 $P_{кр}$ – крюковая сила, Н;
 τ – угол наклона крюкового усилия, рад.

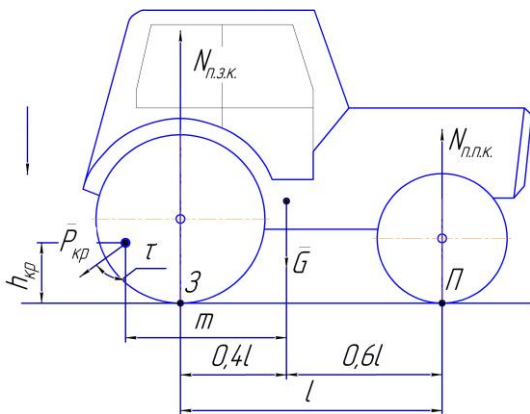


Рис. 8 – Схема к определению составляющих реакций наклонной опорной поверхности на колеса с учётом крюкового усилия: $h_{кр}$ – высота приложения крюкового усилия; m – расстояние между крюковым усилием и центром тяжести трактора; l – расстояние между осями передних и задних колёс; З, П – точки приложения соответственно заднего и переднего колёс с опорной поверхностью; \downarrow – градиент склона

В связи со сложными вычислительными операциями, при использовании выражения интенсивности изнашивания протектора шин и оптимизации величин, входящих в аналитические зависимости, разработана компьютерная программа определения интенсивности изнашивания протектора на единицу длины пути пневматического колеса в условиях склонного земледелия (№ 2015614951) (рис. 9).

Интенсивность износа протектора шин			
Коэффициент истирающей способности грунта	0,0001	Вес трактора (кг)	3150
Коэффициент трения резины о грунт	0,07	Угол склона (градусы)	15
Высота центра тяжести трактора (м)	1,5		
Передние колеса		Задние колеса	
Радиус колёс (м)	0,46	Радиус колёс (м)	0,73
Ширина колёс (м)	0,284	Ширина колёс (м)	0,394
Коэффициент аппроксимации характеристик бокового увода шин	24,8	Коэффициент аппроксимации характеристик бокового увода шин	25,5
Коэффициент аппроксимации характеристик бокового увода шин	10,3	Коэффициент аппроксимации характеристик бокового увода шин	17,7
Внутреннее давление передних колёс (Па)	170000	Внутреннее давление колёс (Па)	80000
Ширина колеи колёс (м)	1,8	Ширина колеи колёс (м)	2,45
[Рассчитать]			

Рис. 9 – Интерфейсное окно программного средства «Определение интенсивности износа протектора на единицу длины пути пневматического колеса в условиях склонного земледелия»

Анализ массива значений интенсивности износа на единицу длины при проведении математического эксперимента показал следующее. С увеличением угла склона возрастает величина интенсивности износа для шины модели Ф-35–1 до $2 \cdot 10^{-10}$, а для шины модели Ф-2А до $4 \cdot 10^{-11}$ при росте давления воздуха от 0,08 до 0,2 МПа. Значение углов увода, лежащих в пределах $[0^0; 15^0]$, незначительно влияют на интенсивность износа шин, что явилось подтверждением целесообразности настоящих исследований.

Глава 4 «Методика экспериментальных исследований». Многообразие математических, аналитических выражений 2 и 3 глав систематизировано алгоритмом методики расчета компенсации полного поперечного смещения вниз за счет углов увода при движении трактора по склону (рис. 10).

Фактически, для дальнейших системных преобразований и комплексного решения задачи исследований необходимо было введение в алгоритм функции, выражающей полное поперечное смещение трактора от заданной траектории для определения смещения, вызванного скольжением, которое необходимо компенсировать забросом трактора вверх при реализации его излишней поворачиваемости. Данная процедура была выполнена посредством постановки полного факторного эксперимента 2^5 . Исследовали зависимость полного поперечного смещения трактора $l_{полн}$ от траектории при его недостаточной поворачиваемости (y) от следующих факторов: угол склона (x_1); эксплуатационная масса трактора (x_2); вид почвы (x_3); ширина колеи задних колес (x_4); высота центра масс (x_5). ПФЭ проводился в ОАО «Дружба» Кувандыкского района Оренбургской области на модели трактора МТЗ-82.1 с культиватором КРН-5,6В укомплектованного шинами на передних колёсах 11,2-20 модели Ф-35-1 и задних колёсах 15,5R38 модели Ф-2А (рис. 11). Комплектация трактора соответствовала указанной в технической характеристике завода-изготовителя.

Длина испытательного участка L_T (зачетная делянка) составляла 50 м. Для обеспечения чистоты проведения опыта сохраняли действительную скорость движения постоянной ($V_d = const$). Причем проводились опыты при нормальных внутришинных давлениях в передних и задних колёсах ($p_{w1}=0,14$ МПа, $p_{w2}=0,16$ МПа), соответствующих условию недостаточной поворачиваемости. На участке выбиралось направление движения и намечался коридор движения,

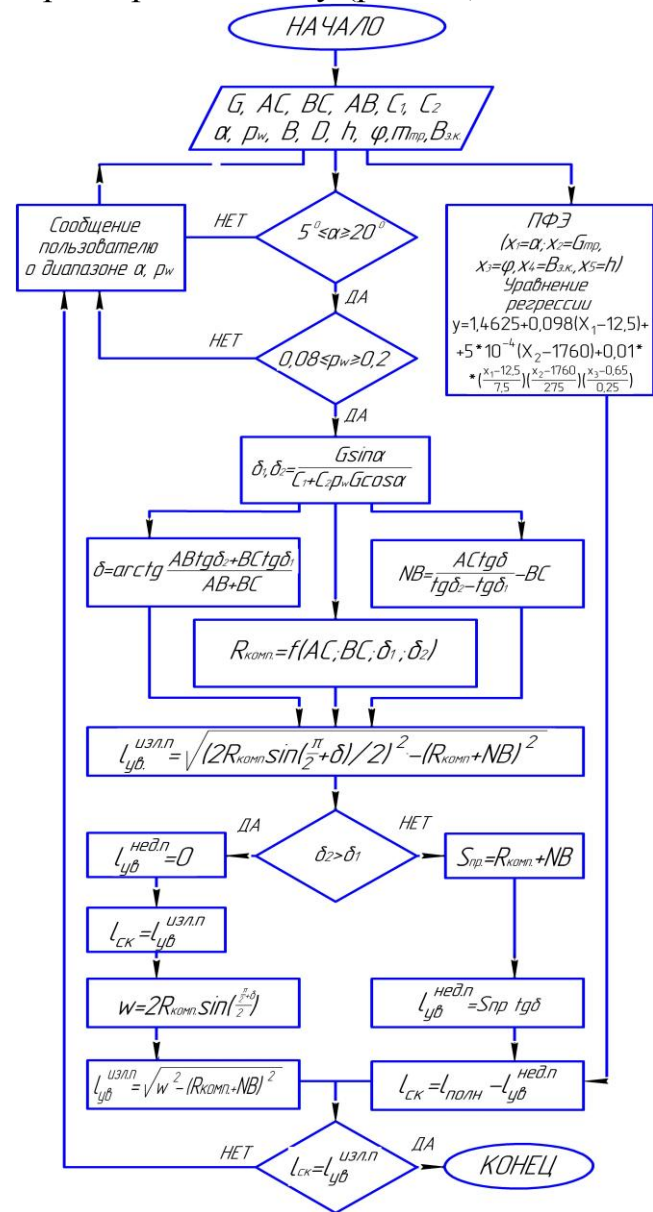


Рис. 10 – Алгоритм оптимизации параметров устойчивости мобильной системы при движении по наклонной опорной поверхности

от края которого определялось полное поперечное смещение. Опыты проводились по пять раз на склонах $5, 10, 15, 20^{\circ}$ на каждом почвенном фоне. В процессе прогона рулевое колесо фиксировалось с учётом люфта и корректирующие воздействия оператора не проводились. Обработка результатов измерений производилась по общей методике экспериментальных исследований. На основании плана ПФЭ 2^5 в натуральных переменных получили с помощью системы STATISTICA 10 уравнение модели:

$$y = 1,4625 + 0,098(X_1 - 12,5) + 5 \cdot 10^{-4}(X_2 - 760) + 0,01 \left(\frac{x_1 - 12,5}{7,5} \right) \cdot \left(\frac{x_2 - 1760}{275} \right) \cdot \left(\frac{x_3 - 0,65}{0,25} \right). \quad (16)$$

В эксперименте по выявлению влияния пяти факторов на полное смещение трактора от траектории статически значимыми при 5%-ном уровне значимости оказались коэффициенты регрессии $b_0 = 1,4625$, $b_1 = 0,7375$, $b_2 = 0,1375$, $b_3 = 0,01$.

Уравнение регрессии позволяет проведение дальнейших аналитических процедур по определению величины заброса трактора в различных агроландшафтных условиях (рис. 12). Согласно предложенному способу необходимо смещение от скольжения $I_{ск}$ компенсировать смещением вверх по склону, вызванным излишней поворачиваемостью $I_{ув}^{изл.п}$ трактора МТЗ-82.1. В связи

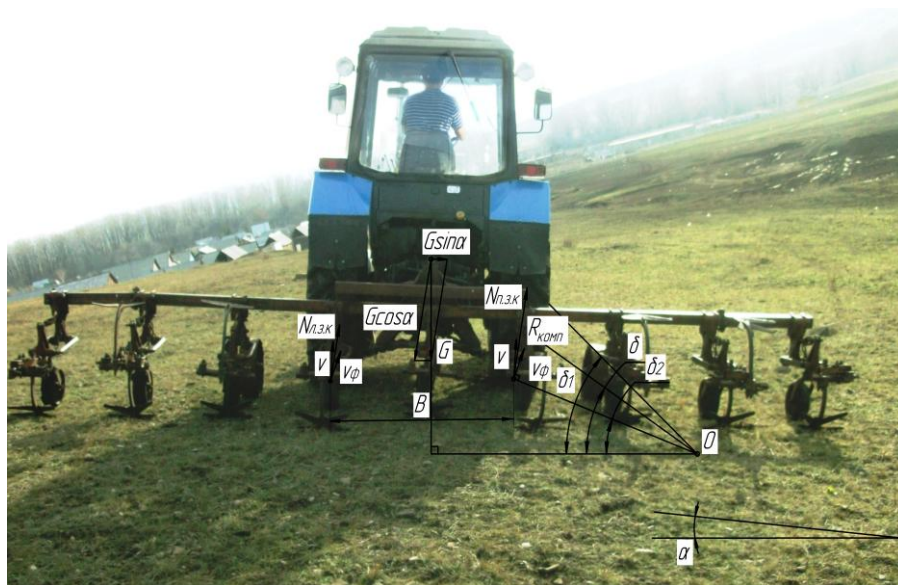


Рис. 11 – Трактор МТЗ-82.1 с культиватором КРН-5,6В на склоне в процессе эксперимента: v_{ϕ} – фактическая скорость, м/с; $N_{л.п.к.}$, $N_{п.п.к.}$ – составляющая нормальной силы соответственно левого заднего колеса и правого заднего колеса; H ; $G \cos \alpha$, $G \sin \alpha$ – составляющие силы тяжести, H .

с этим определили углы увода переднего и заднего мостов δ_1 , δ_2 согласно условию излишней поворачиваемости $\delta_2 > \delta_1$ и допустимым значениям внутришинного давления. Углы увода δ_1 , δ_2 шин 11,2-20 модели Ф-35-1 и 15,5R38 модели Ф-2А трактора МТЗ-82.1 при реализации излишней поворачиваемости должны лежать в интервалах: $[2^{\circ}; 3,8^{\circ}]$ для склона 5° ; $[4,8^{\circ}; 7^{\circ}]$ для склона 10° ; $[7,4^{\circ}; 11^{\circ}]$ для склона 15° ; $[10^{\circ}; 14,6^{\circ}]$ для склона 20° . Используя данные математического анализа, провели производственный эксперимент для проверки адекватности теоретических исследований предложенного способа стабилизации курсового движения трактора в условиях склонного земледелия. Эксперимент осуществлялся на склонах с углами $5, 10, 10, 20^{\circ}$ и на почвенном фоне – стерня ($\varphi = 0,7$) с

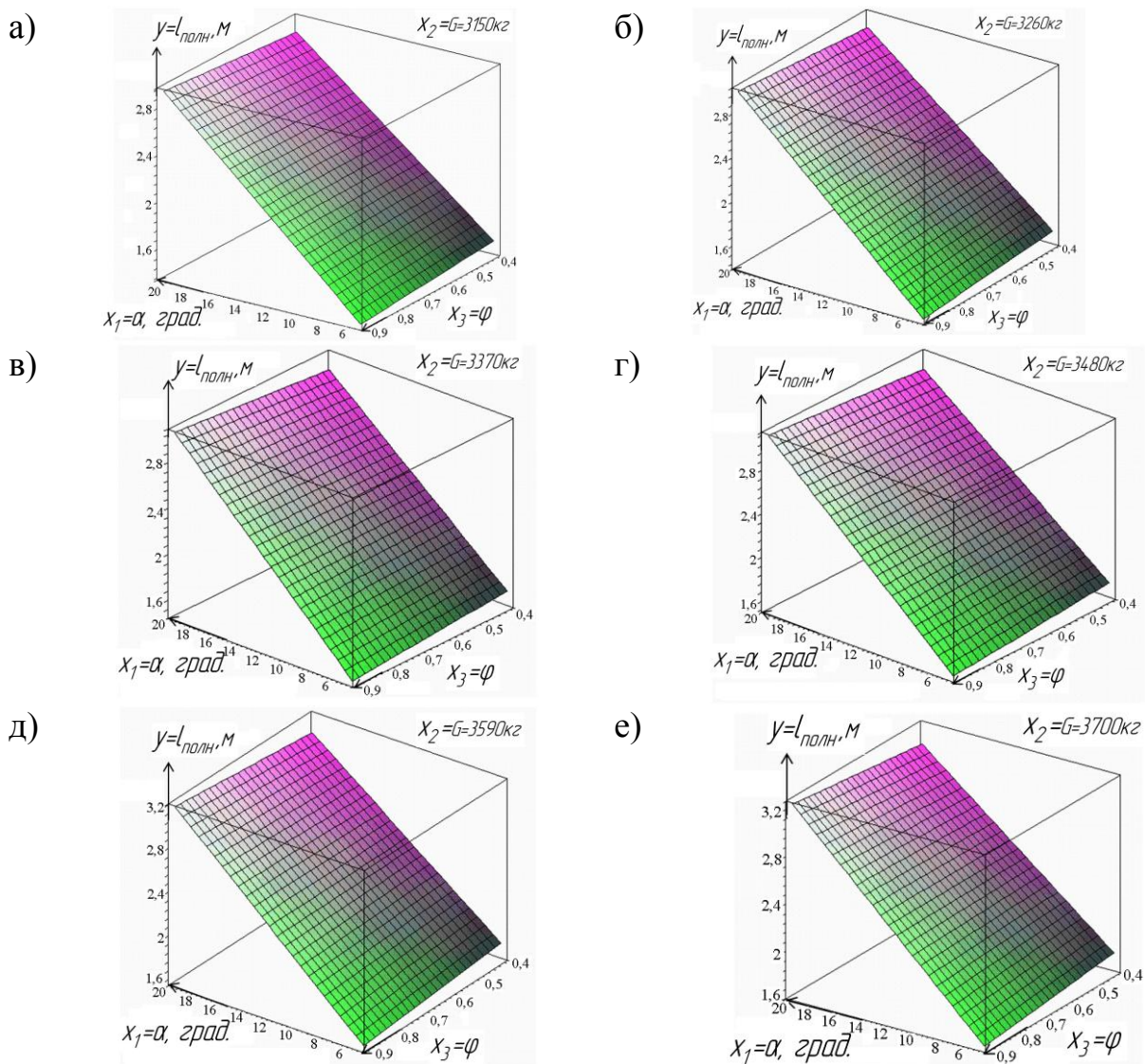


Рис. 12– Поверхность отклика $y=l_{\text{полн}}=1,4625+0,098(X_1-12,5)+5\cdot 10^{-4}(X_2-1760)+0,01\left(\frac{x_1-12,5}{7,5}\right)\cdot\left(\frac{x_2-1760}{275}\right)\cdot\left(\frac{x_3-0,65}{0,25}\right)$ при постоянной нормальной переменной X_2 (вес трактора) и изменяющих переменных (угол склона) $X_1=[5^0;20^0]$, $X_3=[0,4;0,9]$ при: а) $X_2=3150\text{кг}$; б) $X_2=3260\text{кг}$; в) $X_2=3370\text{кг}$; г) $X_2=3480\text{кг}$; д) $X_2=3590\text{кг}$; е) $X_2=3700\text{кг}$.

пятикратной повторностью. Данные испытания проводились в аналогичных условиях ПФЭ. Величина отклонения от технологического коридора являлась оценочным критерием правильности выбора оптимальных значений давлений воздуха в шинах, от которых зависят углы увода. Опыты были проведены при прочих равных условиях, то есть во время экспериментов изменяли только давление воздуха в шинах в зависимости от углов и фона опорной поверхности и следили за величиной отклонения. Допустимое смещение от технологической траектории принимали равным ширине защитной зоны $v_{3,3}=0,3$ м. Во время проведения опытов действительная скорость движения трактора поддерживалась постоянной – 8 км/ч.

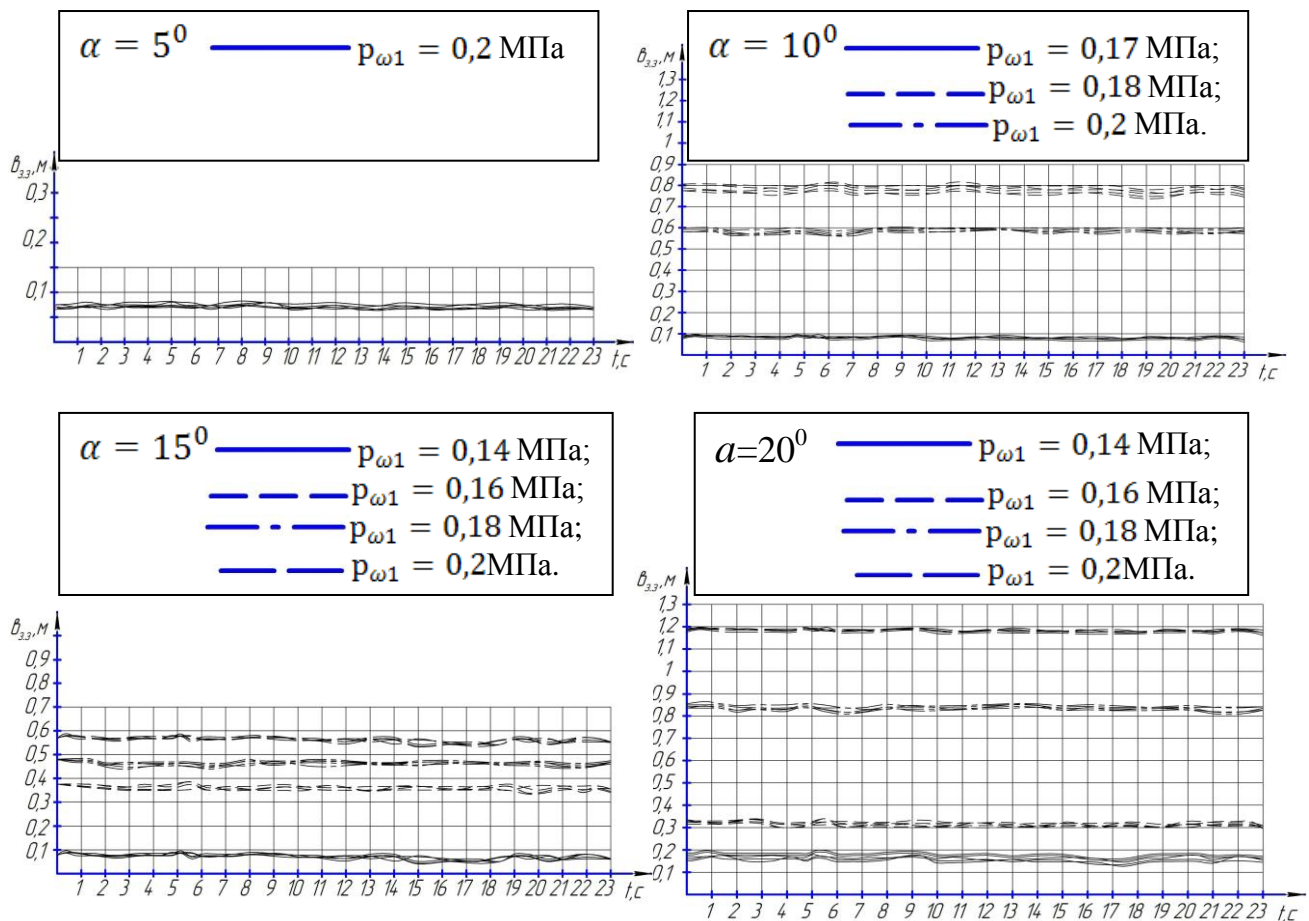


Рис. 13 – Траектории движения трактора МТЗ-82.1 с КРН-5,6В укомплектованного шинами 11,2-20 модели Ф-35-1 и 15,5R38 модели Ф-2А на различных углах склона и внутришинных давлениях передних колёс при постоянном значении внутришинного давления задних колёс $p_{\omega 2} = 0,08$ МПа

С помощью компрессора с манометром Tornado AC 580 контролировали давление воздуха p_{ω} в шинах. Погрешность манометра (по паспорту) составляла 0,5 %. Согласно предложенному способу внутришинное давление задних колёс 15,5R38 модели Ф-2А имеет наибольшее допустимое значение (0,08 МПа), внутришинное давление передних колёс выбиралось с учетом наименьшего отклонения от технологического коридора. Траектории движения трактора МТЗ-82.1 с КРН-5,6В на различных склонах и на одном почвенном фоне (стерня с $\varphi=0,7$) с различными значениями внутришинного давления показаны на рисунке 13. Давление воздуха в шинах передних колёс при движении на склоне 5° составило 0,2 МПа, что является наибольшим допустимым значением. При движении трактора МТЗ-82.1 на склоне с углом в 10° давление воздуха в шинах переднего моста должно составлять 0,17 МПа. На опорной поверхности с углом наклона $\alpha=15^{\circ}$ и 20° давление воздуха в шинах 11,2-20 модели Ф-35-1 устанавливается на значениях 0,14 МПа. Таким образом, при внедрении способа стабилизации курсового движения тягового средства во время реализации технологических операций в условиях склонного земледелия коэффициент эффективности внедрения предлагаемого способа, разработанного в диссертации, составляет 0,65-0,70, что отражает уменьшение количества энергетических затрат на выравнивание траектории движения. В результате экспериментального

перемещения трактора по технологическому коридору установлено соответствие эмпирических данных величин смещений от заданной траектории данным, полученным расчетным путем по разработанной методике. Изменение вида поворачиваемости в данном способе достигалось посредством варьирования значений внутришинного давления, величины которых находились в рамках значений, соответствующих эксплуатационным требованиям, предъявляемым к пневматическим шинам.

В пятой главе «Оценка экономической эффективности внедрения способа курсовой стабилизации колесного трактора при движении по наклонной опорной поверхности» представлен технико-экономический расчёт, показывающий, что определяющими факторами при расчёте годового экономического эффекта (\mathcal{E}_r) являются количество сэкономленного топлива при движении трактора по прямолинейной траектории, сэкономленные денежные средства на заработную плату оператора и снижение амортизационных отчислений, в связи с этим \mathcal{E}_r составил 126650,05 руб. При использовании данного способа межремонтный срок рулевого механизма увеличивается на 210 часов, в связи с чем период проведения ТО в году увеличится на 18 %. В экономических расчетах целесообразно рассматривать только максимальный возможный износ шины, который согласно научным исследованиям главы 3 будет достигаться на шинах передних колёс. Таким образом, износ шины в год переднего колеса составил $I_{\text{год}} = 1\text{мм}$ (при годовой загрузке МТЗ - 82.1 на склонах 700 часов). С учетом того, что высота протектора шины передних колёс 11,2-20 мод.Ф-35-1 равна 34 мм, можно утверждать, что использование способа курсовой стабилизации колёсного трактора при движении на склоне оказывает влияние в пределах допустимых эксплуатационных значений для данной модели шин.

Общие выводы

1. Анализ современных тенденции развития технологичности колесных тракторов и специфика их работы в условиях склонного земледелия предполагает исследование функциональных зависимостей между характеристиками опорной поверхности и режимными параметрами колесного трактора.

2. В результате теоретических исследований установлено влияние углов бокового увода пневматических колёс на курсовую стабилизацию колёсного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на склонах при условии, что углы увода передних и задних колёс меньше 15° ($\delta_1, \delta_2 \leq 15^\circ$), а углы наклона опорной поверхности лежат в диапазоне от 5 до 20° .

3. Определена закономерность смещения, вызванная углами увода шин при реализации излишней поворачиваемости трактора, обеспечивающая компенсацию величины смещения вниз МТА от скольжения на наклонной опорной поверхности.

4. Для оценки энергетической составляющей процесса стабилизации курсового движения трактора на склоне предложен коэффициент эффективности внедрения способа (K), который составляет для предлагаемого способа 0,65 – 0,7, что говорит о возможности реализации его во время выполнения техноло-

гических операций в реальных производственных условиях для заданных параметров коридора движения.

5. С помощью программно-аналитического обеспечения установлены значения интенсивности изнашивания на единицу длины пути до $2 \cdot 10^{-10}$ для шины модели Ф-35-1 и до $4 \cdot 10^{-11}$ для шины модели Ф-2А при увеличении угла склона от 5° до 20° и внутришинного давления от 0,08 до 0,2 МПа, которые показали незначительное влияние на характеристики надежности рабочих элементов протектора во время реализации способа курсовой стабилизации колесного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности.

6. В результате проведения полного факторного эксперимента по схеме 2^5 получено уравнение регрессии, позволяющее определить полное поперечное смещение колесного трактора с различной эксплуатационной массой и в различных агроландшафтных условиях ($y = I_{\text{полн.}} = f(G; \alpha; \varphi)$) от заданной траектории для создания адекватного компенсирующего смещения вверх посредством способа курсовой стабилизации колесного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности.

7. В результате производственных испытаний трактора МТЗ-82.1 на почвах с коэффициентом сцепления $\varphi = [0,5; 0,8]$ установлены углы увода шин передних колес 11,2-20 модели Ф-35-1 и задних колес 15,5R38 модели Ф-2А для склона с $\alpha = 5^\circ$ соответственно равными: $\delta_1 = 2,2^\circ$, $\delta_2 = 3,8^\circ$; для склона с $\alpha = 10^\circ$ – $\delta_1 = 6,3^\circ$, $\delta_2 = 7^\circ$; для склона с $\alpha = 15^\circ$ – $\delta_1 = 10,65^\circ$, $\delta_2 = 11^\circ$ и для склона с $\alpha = 20^\circ$ – $\delta_1 = 14,4^\circ$, $\delta_2 = 15^\circ$, что дает возможность компенсировать полное поперечное смещение колесного трактора от технологической траектории на различных склонах.

8. Производственные испытания показали, что для удержания трактора МТЗ-82.1, укомплектованного шинами моделей 11,2-20 Ф-35-1 и 15,5R38 Ф-2А на технологической траектории, необходимо устанавливать давления воздуха в шинах передних колес 0,2; 0,17; 0,14; 0,14 МПа соответственно на склонах с углами 5° , 10° , 15° , 20° при постоянных значениях внутришинного давления в задних колесах, равных 0,08 МПа.

9. В результате экономического анализа внедрения инновационного способа получен годовой экономический эффект равный 126650,05 руб. (при расчете использовалась фактическая загрузка трактора МТЗ-82.1 на склонах во время выполнения сельскохозяйственных операций в течение 2014 года, равная 700 часам) от снижения амортизационных отчислений, количества сэкономленного топлива и денежных средств на заработную плату оператора. При использовании данного способа межремонтный срок рулевого механизма увеличивается на 210 часов, в связи с чем период проведения ТО в году увеличится на 18 %. Износ шины переднего колеса в год составил $I_{\text{год}} = 1 \text{ мм}$, что не превышает требований, предъявляемых к пневматическим шинам.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Асманкин, Е.М. К вопросу развития энергосберегающих технологий в АПК / Е.М. Асманкин, С.В. Юмакаева, М.Б. Фомин, А.Ж. Балмугамбетова // Известия ОГАУ. – 2012. – №2. – С. 77–79.

2. Асманкин, Е.М. Методика определения моментов увода колесного трактора / Е.М. Асманкин, А.А. Аверкиев, И.А. Рахимжанова, С.В. Юмакаева // Известия ОГАУ. – 2012. – №2. – С. 74 – 77.

3. Асманкин, Е.М. Обоснование способа теоретического исследования траекториальной устойчивости мобильных энергетических средств в условиях склонного земледелия / Е.М. Асманкин, С.В. Тарасова, В.А. Шахов // Известия ОГАУ. – 2013. – №5. – С. 81 – 83.

4. Асманкин, Е.М. Специфика концептуального развития технического обеспечения курсовой устойчивости колёсных машин / Е.М. Асманкин, С.В. Юмакаева, В.В. Реймер, В.С. Стеновский // Известия ОГАУ. – 2010. – №4. – С. 73 – 76.

5. Асманкин, Е.М. Теоретическое исследования влияния углов бокового увода колес на поперечное смещение машины при ее движении по наклонной опорной поверхности / Е.М. Асманкин, С.В. Тарасова, В.А. Шахов, В.В. Реймер // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – №5. – С. 50 – 53.

6. Стеновский, В.С. Стабилизация транспортного средства на наклонной поверхности / В.С. Стеновский, В.В. Реймер, С.В. Юмакаева // Сельский механизатор. – 2011. – №5. – С. 12.

7. Тарасова, С.В. Методика и исследование результатов взаимодействия протектора с наклонной опорной поверхностью в режиме варьирования углами увода пневматических шин / С.В. Тарасова // Известия ОГАУ. – 2015. – №2. – С. 84 – 87.

в других изданиях:

8. Асманкин, Е.М. Аспект на проблему устойчивости движения колесных машин / Е.М. Асманкин, С.В. Юмакаева, А.Ж. Нуритдинова, И.В. Яковлев // Материалы всероссийской заочной научно-практической конференции «Инновационные научные решения – основа модернизации аграрной экономики». – Пермь, 2011. – Ч. 2. С. 5 – 10.

9. Асманкин, Е.М. К вопросу определения компенсационного радиуса траектории движения тягового средства на наклонной поверхности / Е.М. Асманкин, С.В. Тарасова // Материалы международной научно-практической конференции «Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК». – Оренбург, 2014. – С. 50 – 54

10. Юмакаева, С.В. Методика формализации дестабилизирующего момента колесного движителя / С.В. Юмакаева, И.А. Рахимжанова, В.В. Реймер В.С. Стеновский // Материалы Международного научно-технического семинара В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники». – Саратов, 2012. – С. 297 – 302.

11. Стеновский, В.С. Проблемы технического инновационирования при разработке современных технологий и средств механизации сельского хозяйства / В.С. Стеновский, С.В. Юмакаева, И.В. Яковлев // Материалы международной конференции «Аграрная наука и образование в условиях становления инновационной экономики». – Оренбург, 2011. – С. 123 – 125.

12. Тарасова, С.В. Интерпретация результатов теоретических и экспериментальных исследований курсовой стабилизации колёсного трактора при работе на склоне / С.В. Тарасова, Ю.А. Ушаков // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке и образовании». – Москва, 2015. – С. 77 – 85.

13. Тарасова, С.В. Современные тенденции развития технологичности мобильных энергетических средств в АПК / С.В. Тарасова, А.Ж. Балмугамбетова, Ю.С. Рябова // Материалы IV международной научно-практической конференции «Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса». – Новокузнецк, 2014. – С.95 – 102.

14. Тарасова, С.В. К вопросу повышения технологичности мобильных энергетических средств в условиях склонного земледелия / С.В. Тарасова, Н.Г. Егорова, Ю.С. Рябова // Сборник научных трудов научно-практического форума «Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решений». – Кинель, 2015. – С. 99 – 102.

15. Тарасова, С.В. Экспериментальная модель определения величины полного поперечного смещения колёсного трактора от технологической траектории на склоне / С.В. Тарасова, Ю.А. Ушаков // Материалы IV международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий». – Саратов, 2015. – С. 136 – 141.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. Свидетельство РФ № 2015614951 Определение интенсивности износа протектора на единицу длины пути пневматического колеса в условиях склонного земледелия / Тарасова С.В., Ушаков Ю.А., Асманкин Е.М., Горельская Е.В. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Оренбургский ГАУ (RU). опубл. 30.04.2015.

Тарасова Сария Валеевна

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА КУРСОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ
КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА ПРИ ДВИЖЕНИИ
ПО НАКЛОННОЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 5.05.2015
Формат 60×84/16. Усл.печ.л.1,0. Печать оперативная.
Бумага офсетная. Заказ № 7727. Тираж 100 экз.

Издательский центр ОГАУ
460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18. Тел. (3535) 77-61-43
Отпечатано в Издательском центре ОГАУ