

ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

СТЕНОВСКИЙ

Вячеслав Сергеевич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖИТЕЛЯ
КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА
НЕГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства

05.20.03 – технологии и средства технического обслуживания в
сельском хозяйстве

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научные руководители –
доктор технических наук,
профессор **Е. М. Асманкин**;
доктор технических наук,
профессор **В. А. Шахов**

Оренбург - 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ проблемы технической реализации процесса стабилизации курсовой устойчивости колесного трактора	8
1.1 Предпосылки формирования проблемы и ее современное состояние	8
1.2 Особенности эксплуатации колесных тракторов в условиях ландшафтной нестабильности земельных угодий	10
1.3 Пути и средства технической реализации повышения устойчивости движения колесного трактора	16
1.4 Анализ перспективы конструктивно-технологического развития движителя колесного трактора	32
1.4.1 Актуальность и перспективы модернизации колесного движителя в аспекте стабилизации курсового движения	32
1.4.2 Протектор для повышения курсовой устойчивости колесного трактора	34
2 Теоретическое обоснование методики определения влияния конфигуративно-параметрических характеристик протектора на процесс стабилизации траектории движения МТА	38
2.1 Анализ режимного обеспечения процесса стабилизации курсового движения колесного трактора	38
2.2 Взаимосвязь динамических и кинематических показателей процесса дестабилизации траектории движения	51
2.3 Наличие реактивной составляющей касательной силы тяги как фактор стабилизации курсового движения	56
2.3.1 Реактивная составляющая касательной силы тяги	56
2.3.2 Эксплуатационно-технологическая специфика модернизированного протектора	64

2.3.3	Методика определения скорости стабилизации колеса в режиме движения поперек склона	65
2.4	Теоретическое обоснование конструктивно-функциональных параметров корректирующего режима взаимодействия колесного движителя с несущей поверхностью	68
2.5	Коэффициент стабилизации как показатель значимости процесса компенсации увода	70
2.6	Оценка интенсивности износа модернизированного протектора	75
3	Методика экспериментальных исследований	80
3.1	Общие положения экспериментальных исследований	80
3.2	Лабораторно-измерительные приборы	81
3.3	Выбор объекта исследований	86
3.4	Технология проведения эмпирических исследований в производственных условиях	86
3.5	Технология обработки экспериментальных данных	91
3.5.1	Общие положения обработки экспериментальных данных	91
3.5.2	Организация многофакторного эксперимента	93
3.5.3	Математические модели выходов процессов	97
3.6	Результаты экспериментальных исследований	98
4	Обоснование технико-экономической эффективности способа курсовой стабилизации колесного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций в условиях склонового земледелия	102
	Общие выводы	113
	Список литературы	116
	Список условных обозначений	133
	Приложения	138

Введение

В соответствии с разработанной Правительством РФ подпрограммой «Техническая и технологическая модернизация, инновационное развитие» на 2013 – 2020 годы в сфере сельского хозяйства и переработки сельскохозяйственной продукции планируется создание нового машинно-технологического комплекса как инновационной базы аграрного производства, являющегося важнейшей производственной системой, определяющей объемы, качество и показатели экономической эффективности конечной сельскохозяйственной продукции. Поэтому одной из первоочередных стратегических задач, направленных на развитие АПК (агропромышленного комплекса) страны, является модернизация ее инженерно-технической базы [138].

Как известно, машинно-тракторные агрегаты (МТА) занимают доминирующее положение в общей системе механизации технологических процессов. В связи с тем, что трактор является тягово-энергетическим модулем МТА, его технической оснащенностью и заложенной в него возможностью адаптироваться к эксплуатационным условиям приоритетно определяются качественные показатели работы всего агрегата в целом. Для этого внедряются в АПК России новейшие агротехнологии на базе систем глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), предполагающие необходимость обеспечения высокой точности выполнения технологических операций, которая приоритетно определяется степенью адекватности реальной траектории движения трактора заданному курсу, т.е. его курсовой устойчивостью. Реализация этого дифференцируется по двум направлениям: за счет компенсации физических возможностей водителя путем применения курсоуказателей и автопилотов [11, 12, 25, 27, 28], а также за счет совершенствования конструктивно-режимных параметров трактора [17, 31, 33, 36], направленного на повышение степени адаптивности самого управляемого объекта МТА – трактора к ландшафтным характеристикам

опорной поверхности. Необходимость реализации второго направления особенно остро проявляется при эксплуатации трактора на негоризонтальных опорных поверхностях, где движение осуществляется при действии боковой скатывающей силы и дисбалансного нагружения бортов. Этот факт заставляет сельхозтоваропроизводителей закупать зарубежные тракторы, которые имеют более высокие технические характеристики, но не всегда в требуемой степени способные адаптироваться к российским природно-производственным условиям. Это создает предпосылки к проведению исследований, направленных на реализацию потенциала эффективности отечественных тракторов.

Объект исследований. Процесс увода колесного трактора от заданного курса в режиме эксплуатации на наклонных участках опорной поверхности.

Предмет исследований. Закономерности влияния тангенциальной составляющей касательной силы тяги на курсовую устойчивость машинно-тракторного агрегата.

Научная новизна работы:

по специальности 05.20.01

- методика теоретического обоснования процесса курсовой стабилизации колесного трактора в условиях ландшафтной нестабильности сельскохозяйственных угодий;

- теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров движителя колесного трактора;

- методика оптимизации конструктивно-режимных параметров инновационного технического решения для стабилизации курсовой устойчивости колесной машины;

- методика определения аналитических зависимостей формализующих процесс преобразования буксования в полезную работу.

по специальности 05.20.03

- методика расчета интенсивности процесса изнашивания рабочей

поверхности протектора при выполнении технологических операций в условиях склонового земледелия;

- математическая модель процесса изнашивания рабочих поверхностей элементов протектора для интерактивной технологической среды эксплуатации мобильных энергетических средств.

Практическая значимость работы

по специальности 05.20.01

- разработан способ стабилизации курсовой устойчивости колесной машины на наклонной опорной поверхности реализуемый инновационным техническим решением, подтвержденным патентом на изобретение (RU 2330763 С2);

- предложен вариант инновационного протектора для колесного движителя, посредством которого отклонение от заданной технологической траектории снижается на 22%;

- закономерности преобразования энергии сопротивления качению в полезную работу процесса стабилизации курсовой устойчивости.

по специальности 05.20.03

- установлены закономерности формализации взаимодействия параметрических моделей при изменении конфигуративно-геометрических характеристик колеса и наклонной опорной поверхности;

- предложен алгоритм расчета интенсивности изнашивания рабочих поверхностей протектора колесного движителя для условий ландшафтной неустойчивости.

Реализация результатов диссертационных исследований.

Разработанный способ и его реализация проходили проверку в КФХ «Кипрей» д. Карайгер, Кувандыкского района, ООО «Им. 11 Кавдивизии» с. Нижняя Павловка, Оренбургского района, СПК «колхоз» им. Ю.А. Гагарина Оренбургского района Оренбургской области (Приложения А, Б, В).

Научно-методические материалы по проектированию и режимно-параметрическому анализу используются в учебном процессе инженерных

специальностей Оренбургского государственного аграрного университета, а также при подготовке магистров по направлению «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».

Публикации. По материалам диссертационных исследований опубликовано двадцать статей, пять из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Получены два патента на устройство и способ (Приложения Г, Д).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов по результатам диссертационных исследований, библиографического списка использованной литературы и приложений.

Диссертация выполнена в соответствии с программой научных исследований Оренбургского ГАУ «Разработка высокоэффективных зональных машинных технологий и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции растениеводства».

Положения выносимые на защиту:

1. Результаты теоретических исследований силового баланса в процессе взаимодействия элементов протектора с наклонной опорной поверхностью;
2. Функциональная взаимосвязь мощности реализуемой на курсовую устойчивость трактора и конфигуративно-геометрических параметров рабочих элементов протектора колесного движителя;
3. Способ интерактивного анализа изменения геометрических характеристик рабочих элементов протектора движителя колесного трактора при выполнении технологических операций;
4. Результаты производственных исследований процесса отклонения экспериментального трактора от технологической траектории для различных ландшафтных условий при реализации заданных эксплуатационных режимов;
5. Результаты технико-экономического обоснования внедрения предлагаемого технического решения.

1 Анализ проблемы технической реализации процесса стабилизации курсовой устойчивости колесного трактора

1.1 Предпосылки формирования проблемы и ее современное состояние

В настоящее время актуализируется задача интеграции технологий точного земледелия в АПК России, которые являются новой популярной концепцией производства продукции растениеводства, уже получившей широкое распространение в развитых странах Запада. Исследования по технико-экономическому обоснованию, проведенные как за рубежом, так и у нас в стране, доказывают перспективность и целесообразность внедрения указанных технологий. Реализация их потенциала невозможна без обеспечения точного направления МТА по заданному курсу в процессе выполнения операций, что, как известно, может быть достигнуто двумя путями: компенсацией физических возможностей водителя, т.е. управляющего субъекта, либо путем закладывания возможности в саму конструкцию тягово-энергетического модуля МТА – трактора выдерживать заданный курс, т.е. путем совершенствования управляемого объекта (рис. 1.1).

Подавляющее большинство тракторов, используемых в хозяйствах страны, устарели. Несмотря на появление новых моделей, отставание их от зарубежных машин велико, что не позволяет реализовать потенциал, заложенный в новейшие технологии при их работе вкуче с отечественными тракторами. Сельхозтоваропроизводители в связи с этим вынуждены закупать более дорогостоящую зарубежную технику, которая не всегда имеет необходимую степень адаптивности к зональным особенностям и агроландшафтам Российской Федерации, что особенно остро проявляет себя при работе поперек склонов. Это создает предпосылки к проведению

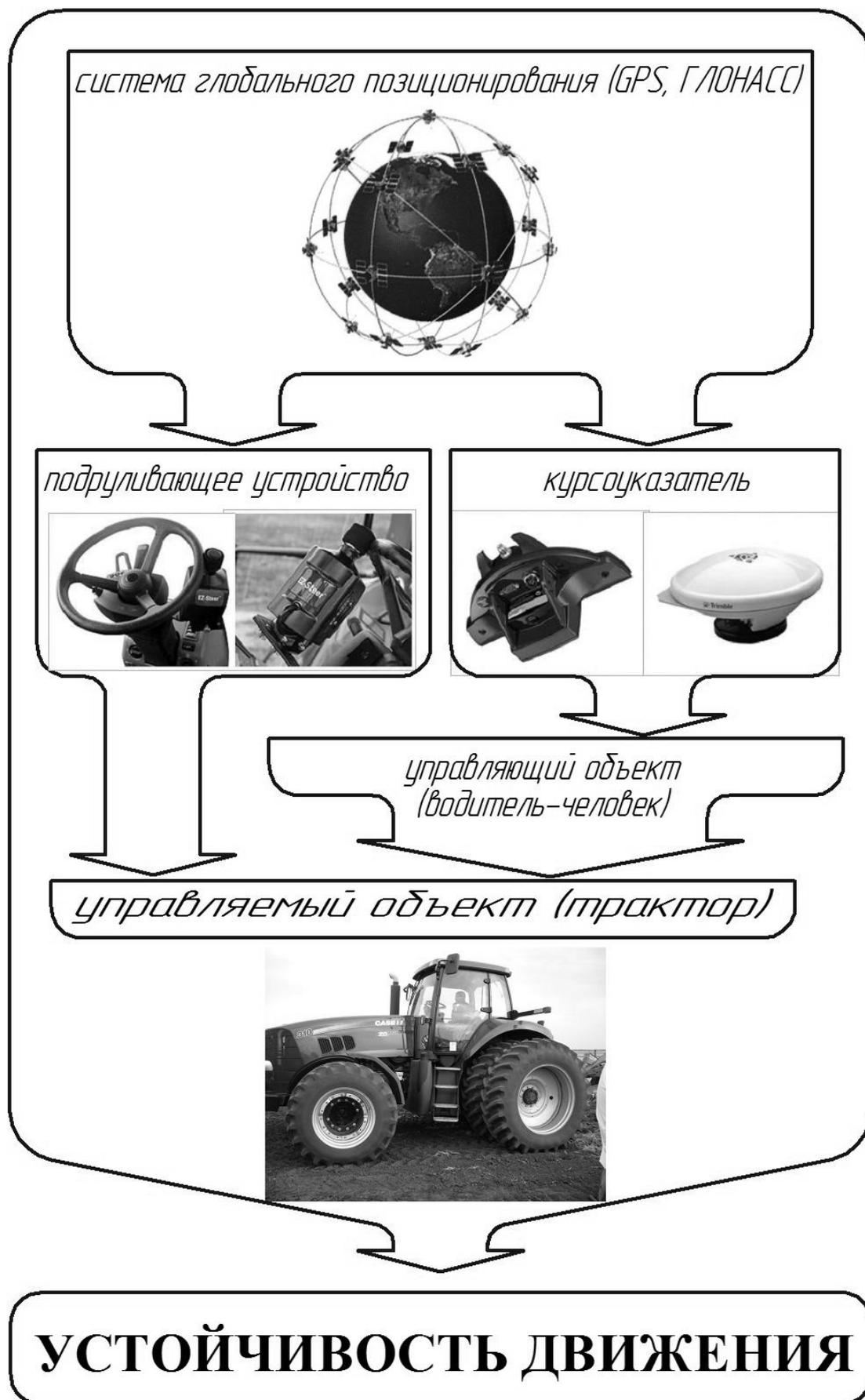


Рисунок 1.1 – Схема взаимодействия элементов, обеспечивающих точность вождения

исследований по совершенствованию отечественных тракторов и технологий, реализуемых на их базе, в частности технологии корректировки траектории движения в режиме действия боковой возмущающей силы [137, 138, 139, 156, 162]. В этих условиях при существующем способе управления трактором реализация коридора движения, адекватного требованиям агротехники, зачастую невозможна. При выполнении операций наблюдаются пропуски и перекрытия, разъемные борозды, повреждение и засыпание культурных растений, неполное уничтожение сорняков. При отклонении трактора от заданного курса в агрегате с сеялкой рядки получаются криволинейными, что приводит к травмированию растений при их последующей обработке. Указанные негативные явления, как известно, приводят к снижению урожайности, а в конечном итоге к снижению экономических показателей всей сельскохозяйственной отрасли в целом [45, 79, 93, 94, 100, 123, 124, 141, 148, 154, 155, 157, 158, 159, 160, 161, 163, 164].

Таким образом, необходимо закладывать возможность адаптации самого тягового модуля МТА к рельефным условиям, чего можно добиться путем качественного изменения технологии корректировки траектории движения, предполагающей минимизацию силового воздействия на органы управления. Только так можно обеспечить реализацию потенциала новейших компьютерных и космических агротехнологий в условиях АПК России, повысив экономические показатели всей отрасли в целом.

1.2 Особенности эксплуатации колесных тракторов в условиях ландшафтной нестабильности земельных угодий

В режиме эксплуатации колесных тракторов на горизонтальных опорных поверхностях факторы, возмущающие устойчивое движение, носят случайный характер и легко компенсируются посредством воздействия трактористом на органы управления, машина вписывается в потребный коридор движения без значимого нарушения норм агротехники, поэтому

влиянием дестабилизирующих движение воздействий на агротехнологические свойства МТА пренебрегают.

При работе на негоризонтальных полях режим взаимодействия движителя с опорной поверхностью меняется [49, 55, 82, 88, 97, 104, 105]. В указанных условиях минимизации воздействия факторов увода на качество движения МТА в подавляющем большинстве хозяйств, как показал опрос специалистов, добиваются путем реализации технологических операций вдоль склонов, что целесообразно только с точки зрения выдерживания заданного курса. Однако эксплуатация агрегатов в продольном направлении способствует эрозии почв, значимой потере тягового потенциала трактора и ухудшению управляемости вследствие нарушения технологической пропорции распределения веса трактора по мостам, рекомендованной заводом-изготовителем. Именно эти факты стали предпосылкой к внесению рекомендаций еще в 1963 году на сессии ВАСХНИЛ о необходимости выполнения всех основных работ, связанных с обработкой почвы, посевом и уходом за с.-х. культурами на негоризонтальных участках опорной поверхности, начиная уже с уклонов в 5 – 7 градусов, в поперечном направлении, что также отражено в ГОСТ 17.5.3.05-84.

После проведения анализа ландшафтных характеристик Оренбургской области результаты были сведены в таблицу (приложение Е) и разбиты по углу склона в сельскохозяйственных зонах (рис. 1.2). Данные таблицы показывают нам, что в области возможно ввести в обработку дополнительно 33,75% сельскохозяйственных площадей (склоны от 3 до 10 градусов) без применения специализированной тракторной техники, предназначенной для работы на склонах. На наклонной опорной поверхности агрегат движется в режиме действия боковой составляющей веса, параллельной уклону, которая провоцирует появление дестабилизирующих движение факторов энергетического модуля и всего МТА в целом [42, 85, 90, 132, 135]. Даже на 7–10 - градусных склонах это приводит к снижению коэффициента использования скорости и коэффициента использования силы тяги на 6 – 8%, перерасход топлива только вследствие удлинения траектории движения, обусловленного

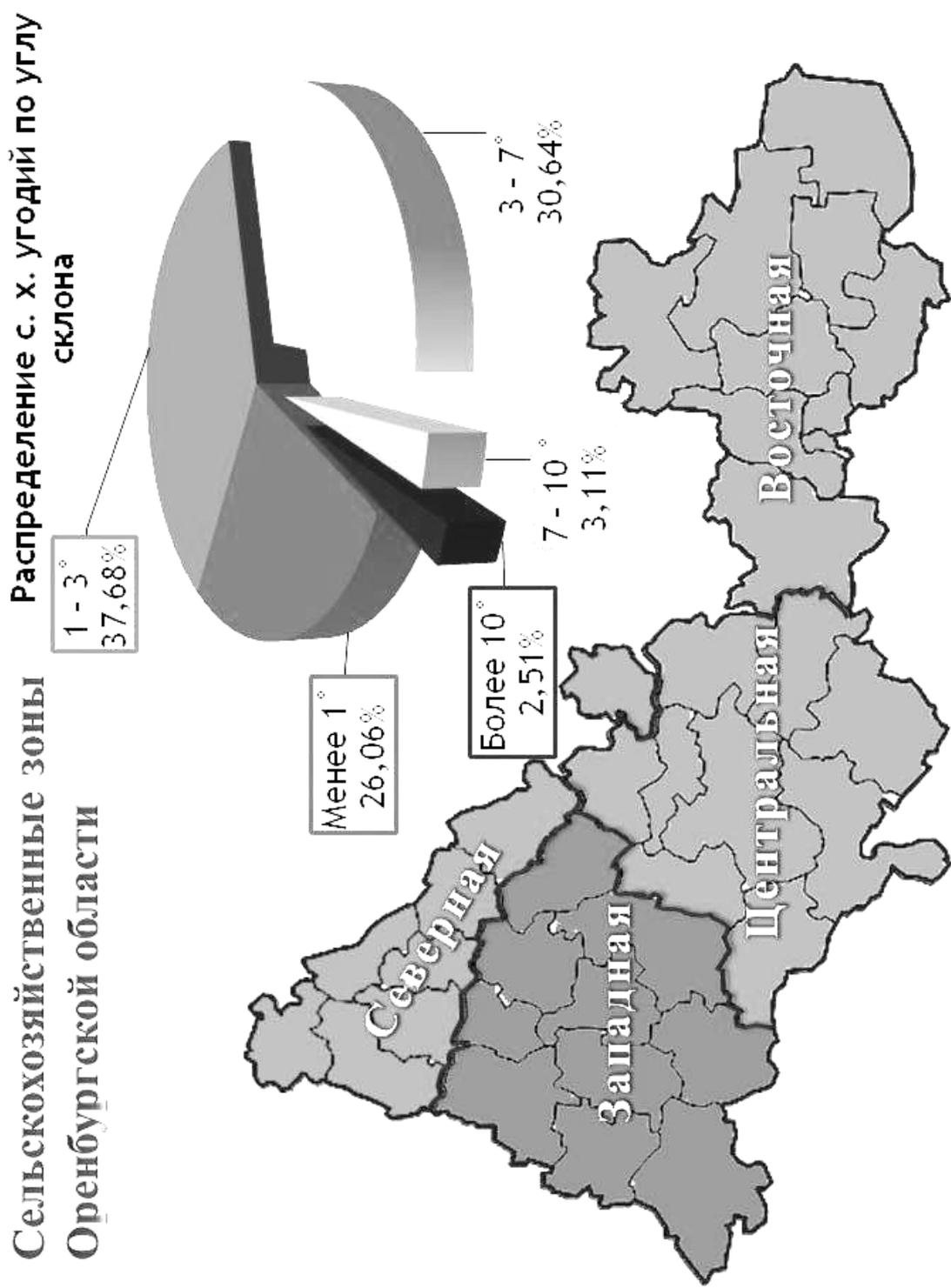


Рисунок 1.2 – Распределение по углу склона в сельскохозяйственных зонах

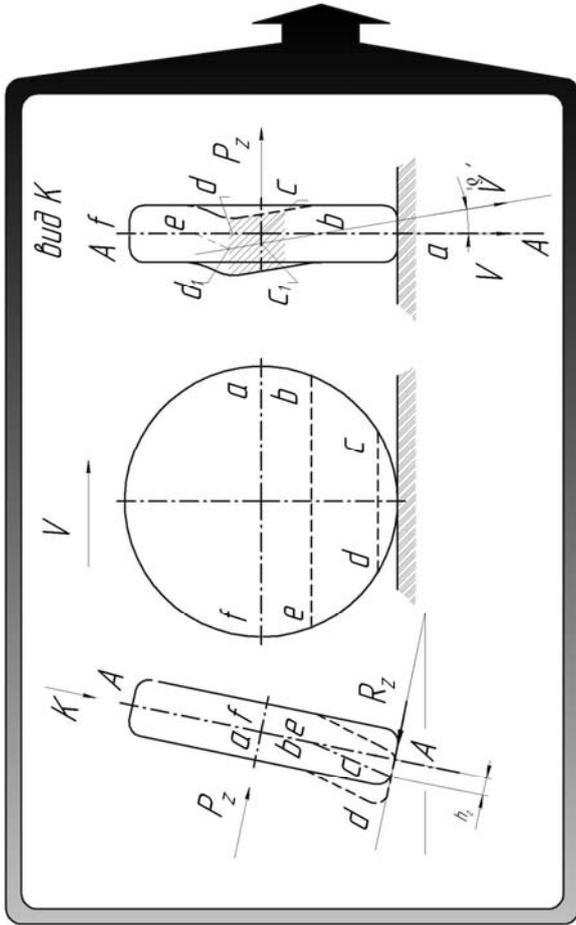
«рысканием машины» под действием постоянных корректирующих воздействий достигает 10 %. Производительность снижается на 15%, сопротивление перекачиванию движителей возрастает на 6 – 10%, повышается на 8–10% погектарный и часовой расход топлива [64, 101, 136].

Факторов увода, обусловленных действием боковой составляющей веса, несколько. Основной из них – это увод эластичного колеса, который провоцирует реализацию качения под углом к заданному курсу, что заставляет весь трактор двигаться под углом к заданному курсу (рис. 1.3 I), что в силовом отношении эквивалентно повороту каждого колеса трактора вниз по склону [110, 111, 121, 122, 145].

Второй по значимости фактор, влияющий на адекватность траектории движения заданному курсу, который проявляет себя при условии незаблокированности дифференциала, это дисбаланс нормальных реакций между верхним и нижним по склону колесами (рис. 1.3 II), обусловленный действием опрокидывающего момента боковой силы на плече, равном высоте расположения центра масс над опорной поверхностью. Этот фактор в соответствии со свойствами дифференциала провоцирует забегание верхних, менее нагруженных вертикальным усилием, колес трактора. Здесь наблюдается эффект перераспределения мощностных потоков в трансмиссионной установке трактора, схожий с процессами, заставляющими поворачивать гусеничную машину при подтормаживании одной из ведущих полуосей. При движении колесного трактора поперек склона роль тормозного усилия играет разница в сопротивлении перекачиванию колес [61, 69, 75].

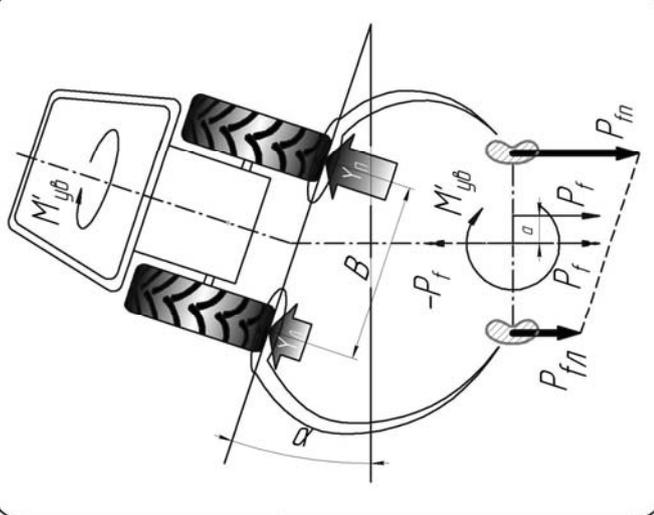
Также необходимо отметить действие дестабилизирующего фактора, о котором приводится мало данных в литературных источниках, такого, как появление моментов увода на каждом колесе, обусловленных действием боковой силы на плече, представляющем собой продольную координату расположения главного вектора нормальных реакций в реальном пятне контакта движителя с опорной поверхностью относительно геометрического пятна контакта (рис. 1.3 III) [62, 69, 72, 75, 84].

I - Увод от боковой составляющей веса трактора направленной вдоль склона



- P_z – доковая сила;
- R_z – реакция почвы;
- h_2 – смещение продольной оси протектора;
- a, b, c, d, e, f – траектория точки обода колеса на горизонтальной опорной поверхности;
- a, b, c, d, e, f – траектория точки обода колеса на наклонной опорной поверхности;
- δ_y – угол увода;
- $\delta'_n, \delta''_n, \delta'_3, \delta''_3$ – углы увода передних левого и правого и задних левого и правого колес соответственно;
- $\delta_n, \delta_3, \delta_c$ – углы увода переднего, заднего мостов и центра масс трактора.

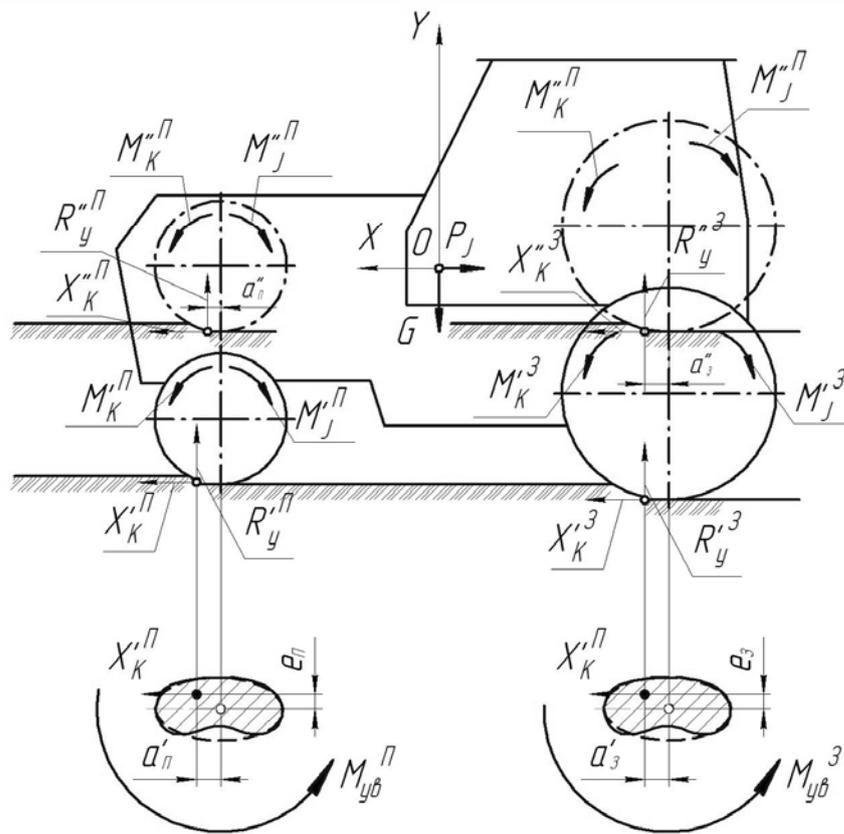
II - Увод от перераспределения нормальных реакций верхнего и нижнего колес по склону



- $M'_{уб}$ – момент увода;
- Y_n – вертикальная реакция на левом колесе;
- Y_p – вертикальная реакция на правом колесе;
- P_f – результирующая сила сопротивления перекачиванию;
- α – угол склона;
- B – ширина колеи;
- a – плечо увода.

Рисунок 1.3 (I, II) – Основные факторы, дестабилизирующие движение колесной машины

III Увод от смещения продольной реакции от плоскости симметрии колеса



G – вес трактора;

P_J – сила инерции;

$X_K^{\prime\Pi}, X_K^{\prime\Pi}, X_K^{\prime 3}, X_K^{\prime 3}$ – продольная реакция опорной поверхности на передние и задние колеса трактора расположенные внизу и вверху по склону;

$R_y^{\prime\Pi}, R_y^{\prime\Pi}, R_y^{\prime 3}, R_y^{\prime 3}$ – нормальная реакция опорной поверхности на передние и задние колеса трактора расположенные внизу и вверху по склону;

$M_K^{\prime\Pi}, M_K^{\prime\Pi}, M_K^{\prime 3}, M_K^{\prime 3}$ – ведущий момент на передних и задних колесах трактора расположенных внизу и вверху по склону;

$M_J^{\prime\Pi}, M_J^{\prime\Pi}, M_J^{\prime 3}, M_J^{\prime 3}$ – момент инерции передних и задних колес трактора расположенных внизу и вверху по склону;

$a_n^{\prime}, a_n^{\prime}, a_z^{\prime}, a_z^{\prime}$ – смещение вперед относительно геометрической оси колеса точки приложения реакций передних и задних колесах трактора расположенных внизу и вверху по склону;

e_n, e_z – смещение вверх по склону относительно геометрической оси колеса точки приложения реакций передних и задних колесах трактора расположенных внизу и вверху по склону;

$M_{yb}^{\prime\Pi}, M_{yb}^{\prime 3}$ – момент увода передних и задних колес соответственно.



● реальная точка приложения реакций;

○ теоретическая точка приложения реакций.

Рисунок 1.3 (III) – Основные факторы, дестабилизирующие движение колесной машины

1.3 Пути и средства технической реализации повышения устойчивости движения колесного трактора

Несоответствие реальной траектории движения трактора заданному курсу обусловлено действием возмущающих факторов, поэтому все создаваемые инженерно-технические средства для повышения курсовой устойчивости направлены на их полную или частичную компенсацию (рис. 1.4). Изначально реализация этого была дифференцирована по двум направлениям: выравниванием полей до незначимой для агротехнологических показателей степени нечувствительности мобильной системы к внешним возмущениям и совершенствованием технико-технологического обеспечения реализации заданного курса самим МТА. Вследствие нецелесообразности выравнивания полей с экономической точки зрения приоритетно развивалось второе направление.

Впервые в нашей стране была реализована попытка создания специализированного трактора для работы на склонах в 60–70-х годах прошлого столетия на базе универсально-пропашного трактора класса 14 кН семейства МТЗ с качающимися бортовыми редукторами (рис. 1.5), которые позволяли в автоматическом режиме стабилизировать остов в вертикальной плоскости, что обеспечивало устранение дисбаланса нормальных реакций между верхними и нижними по склону колесами и, тем самым, позволяло устранять момент увода, обусловленный разницей в сопротивлениях качению колес, спровоцированный указанным дисбалансом [85]. Однако основным предназначением этого устройства было обеспечение безопасности и эргономичности проведения технологических операций на крутых склонах за счет устранения опрокидывающего момента. Вследствие применения вынесенных конечных передач трактор имел высокую металлоемкость и увеличенную по сравнению с серийной моделью ширину ходовой системы, что ограничивало перечень выполняемых технологических операций. Кроме того, техническое решение не обеспечивало компенсацию

Устройство и способ повышения курсовой устойчивости

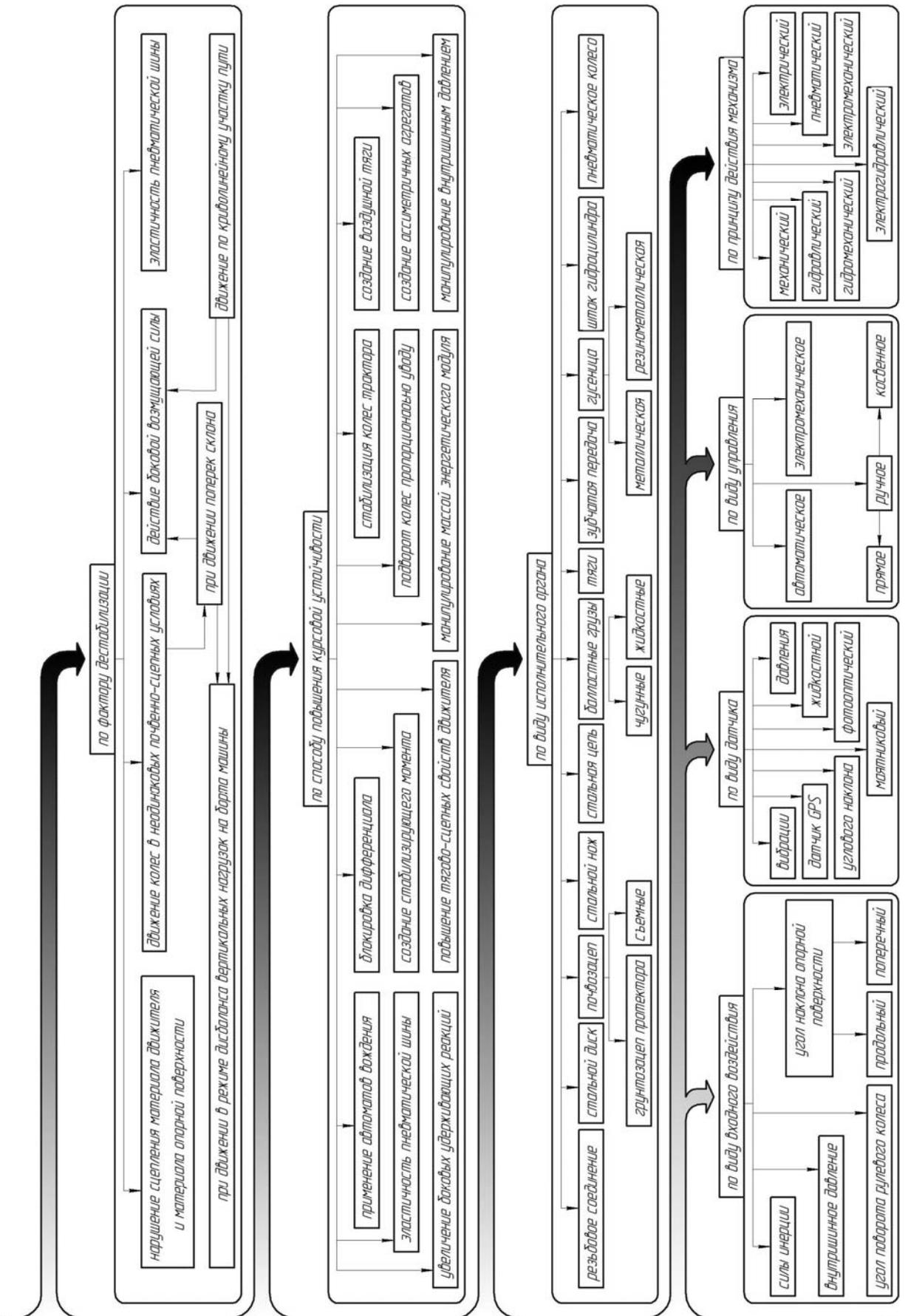
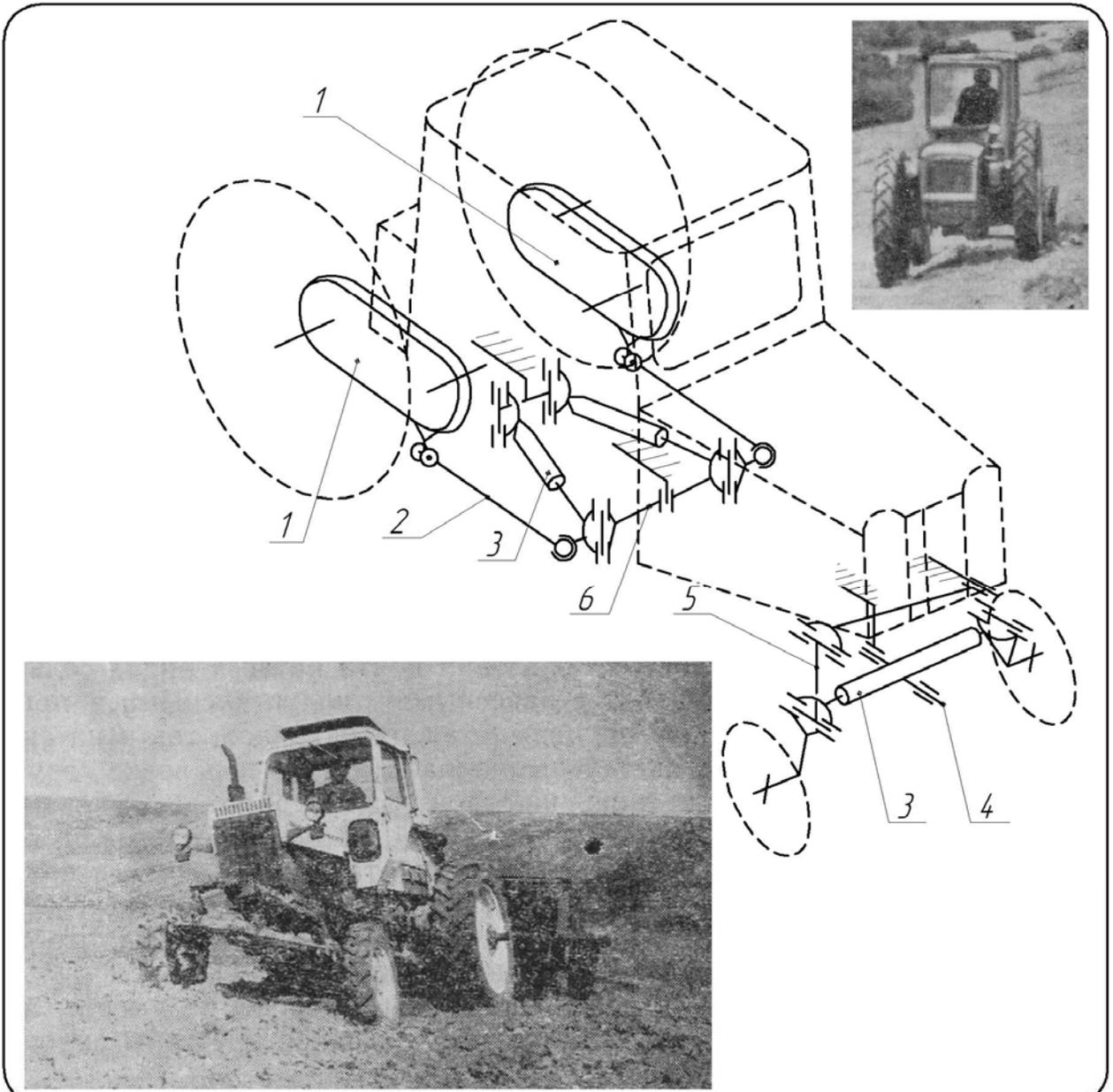


Рисунок 1.4 – Классификация устройств и способов повышения курсовой устойчивости

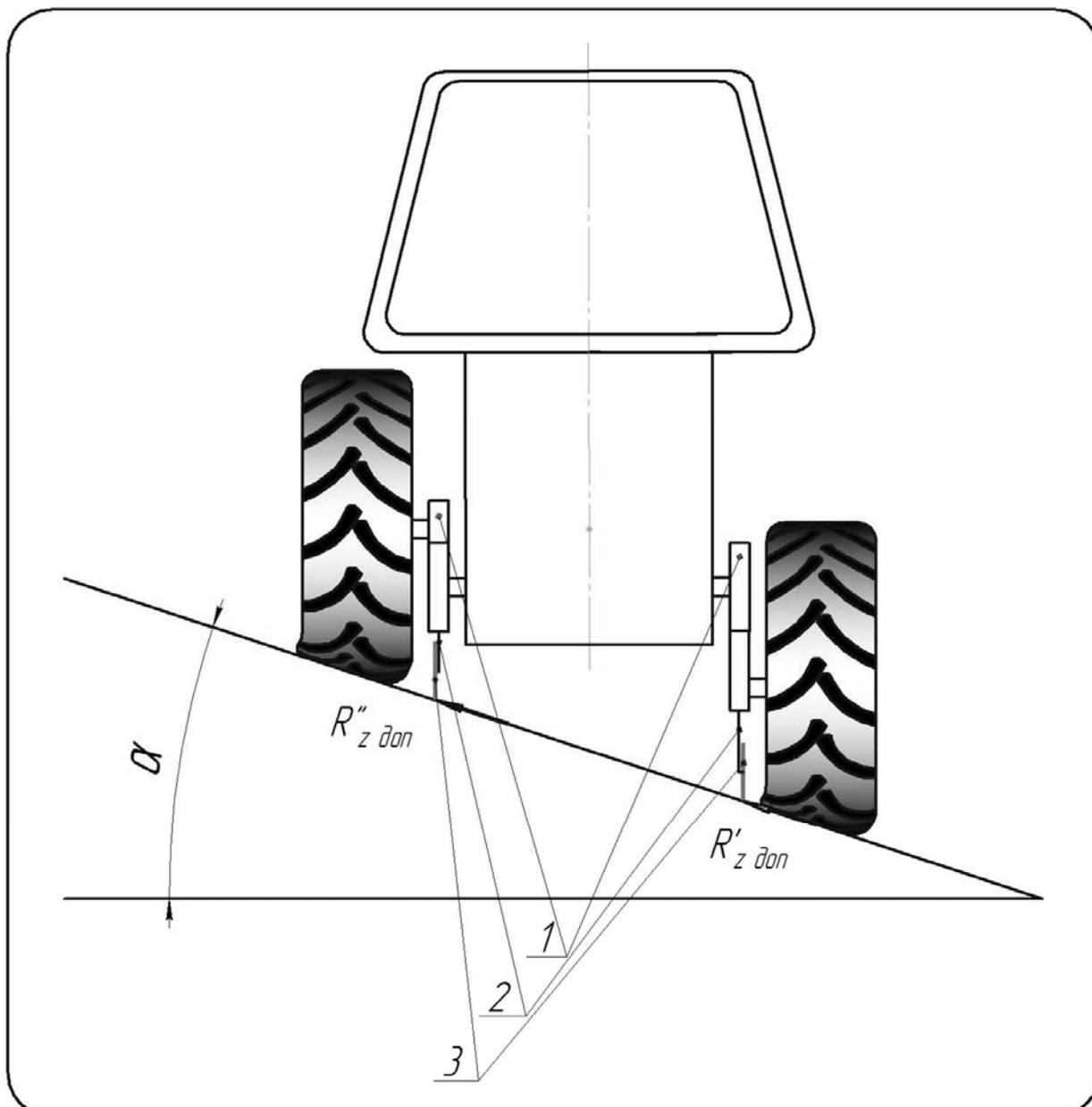


- 1 – задний поворотный редуктор;
- 2 – задние тяги;
- 3 – гидроцилиндры;
- 4 – передний качающийся механизм;
- 5 – передние тяги;
- 6 – задний качающийся механизм;

Рисунок 1.5 – Трактор МТЗ-82 с качающимися бортовыми редукторами

увода эластичного колеса, который является основным фактором увода. Таким образом, задача по обеспечению адекватной агротехнике курсовой устойчивости была второстепенной. Кроме того, в связи с тем, что абсолютное большинство технологических операций выполняется в режиме блокировки дифференциалов, что тоже позволяет устранять момент увода, обусловленный разницей сцепных условий колес, широкое распространение в производственных условиях крутосклонной модификации трактора не было признано целесообразным. Ситуацию не изменила установка на качающиеся редукторы спроектированных Г.М. Непаридзе и О.П. Мшвиладзе заглубляющихся дисков, которые позволили создавать дополнительные удерживающие реакции, снижающие боковой увод МТА, но спровоцированная заглублением дисков разгрузка ведущих колес приводила к ухудшению тягово-сцепных свойств трактора (рис. 1.6) [17, 31, 33, 36].

Практически параллельно на заводе МТЗ с целью адаптации равнинных тракторов к условиям работы на склонах велись работы по созданию низоклиренсной модификации тракторов «Беларусь» с уменьшенным диаметром колес (рис. 1.7) [40, 91, 95, 102, 107, 127, 130]. При проектировании этих тракторов конструкторы учли недостатки, присущие крутосклонным, но уменьшение вертикальной координаты центра тяжести лишь снижало опрокидывающий момент и в незначительной степени способствовало повышению курсовой устойчивости за счет частичной компенсации момента увода, обусловленного креном. Так же как и в предыдущем случае задача по обеспечению курсовой устойчивости носила второстепенный характер, то есть уменьшение величины клиренса может являться лишь дополнительной рекомендацией при создании специализированной конструкции для повышения курсовой устойчивости на склонах. За рубежом с целью уменьшения вертикальной координаты центра тяжести трактора путем балластировки переднего моста за счет навешивания дополнительного груза и всех его колес закачкой в них воды [140, 160]. Достижимый эффект при использовании этого способа и его недостатки аналогичны указанным выше.



$R'_{z \text{ доп}}, R''_{z \text{ доп}}$ – дополнительная удерживающая боковая реакция нижнего и верхнего дисков соответственно;

- 1– поворотные бортовые редукторы;
- 2– рычаги удерживающих дисков;
- 3 – удерживающие диски.

Рисунок 1.6 – Трактор с установленными загибающимися дисками

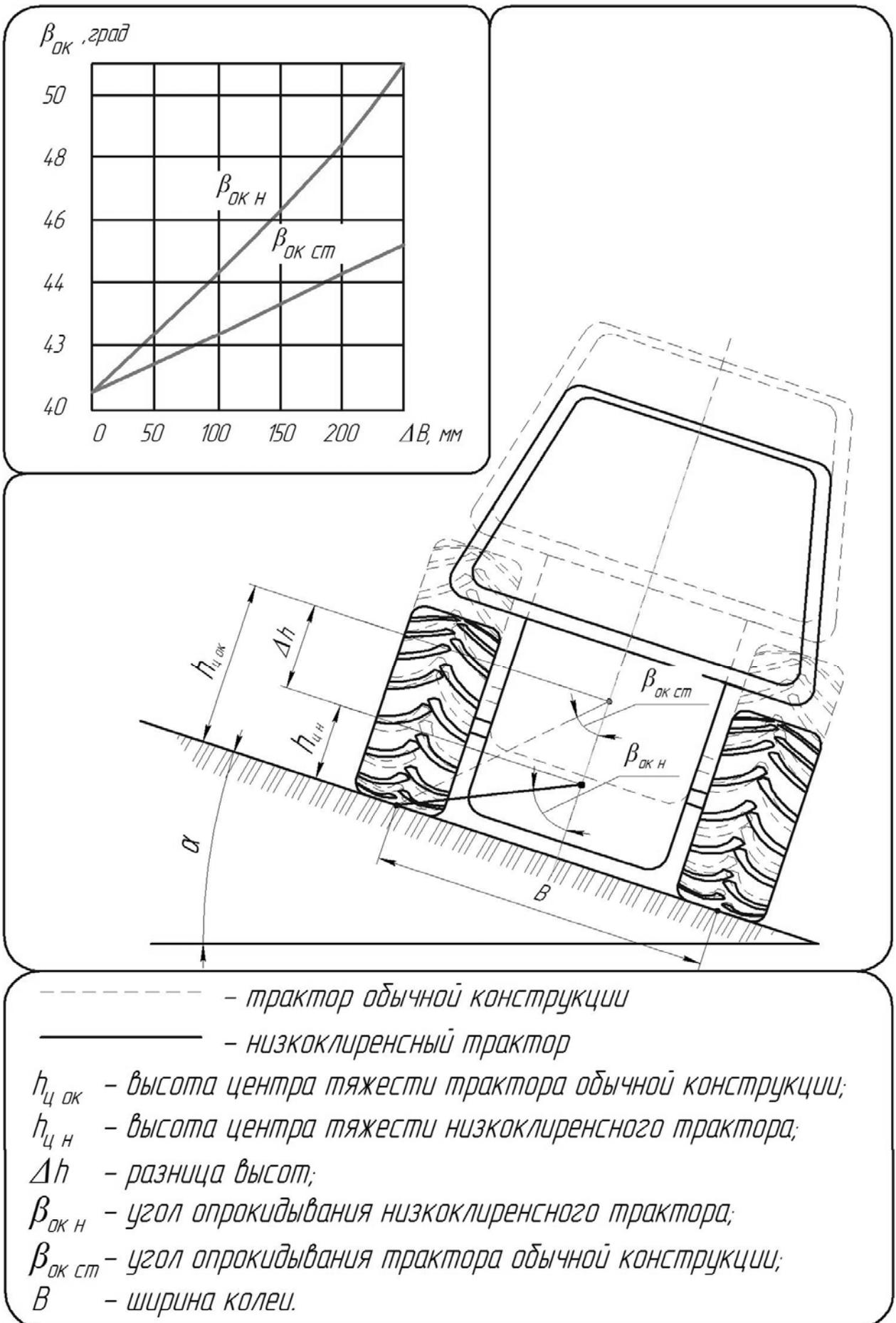
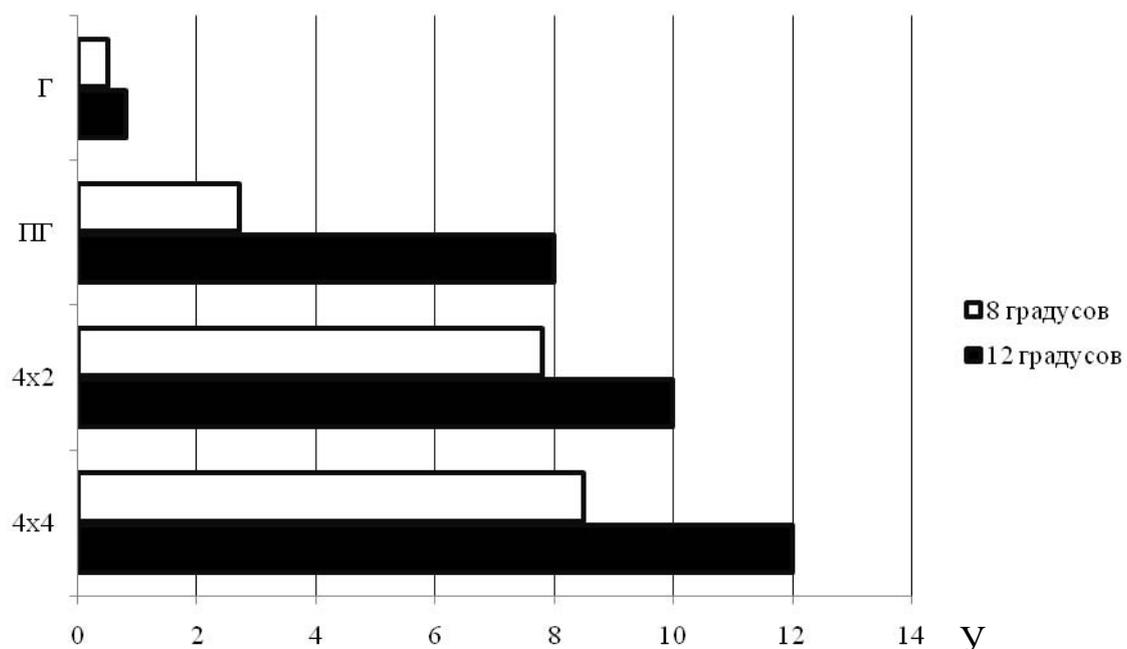


Рисунок 1.7 – Тракторы обычной и низкоклиренсной конструкции

Это создало предпосылки для дальнейших исследований в области обеспечения устойчивости движения колесных тракторов при эксплуатации на наклонных опорных поверхностях. Так, Б. Илиевым были проведены исследования собственной устойчивости тракторов с различными ходовыми системами (рис. 1.8), результатом которых стало получение данных, говорящих о том, что наименьшее отклонение от заданного курса по сравнению с колесными наблюдается у тракторов с гусеничным движителем и полугусеничным ходом. Однако при использовании указанных устройств увеличиваются энергозатраты на совершение маневров и на сопротивление качению [52, 53, 54, 71, 78, 89, 98, 116, 131, 150, 153]. Также применение гусеничного движителя имеет известные ограничения при движении по твердому дорожному покрытию. Использование полугусеничного хода обуславливает простои при холостых переездах агрегата и на транспортных работах, так как требует его демонтажа. Снижение степени отклонения от заданного курса при использовании указанных устройств обеспечивается путем реализации ими больших боковых реакций по сравнению с использованием пневматических колес (рис. 1.9). По этому же пути пошли инженеры при создании съемных почвозацепов, но их применение имеет свои ограничения при использовании на влажных почвах из-за забивания промежутков между ними грязью и стерневыми остатками, что приводит к снижению их сцепления с опорной поверхностью и провоцирует боковое скольжение трактора [5, 6, 7, 9, 13, 14, 15, 22, 29, 35, 37]. Общим недостатком съемных почвозацепов полугусеничным ходом является тот факт, что при внедрении их элементов в грунт при движении происходят сдвиги почвы и разрушение ее структуры, что повышает вероятность эрозии. Монтаж и демонтаж почвозацепов приводит к простоям техники, что при ограниченности количества тракторов в хозяйствах существенно влияет на агросроки и, как следствие, на урожайность конечной продукции (рис. 1.10).

Избежать указанных недостатков позволили исследования, направленные на использование шин низкого давления, что позволило также

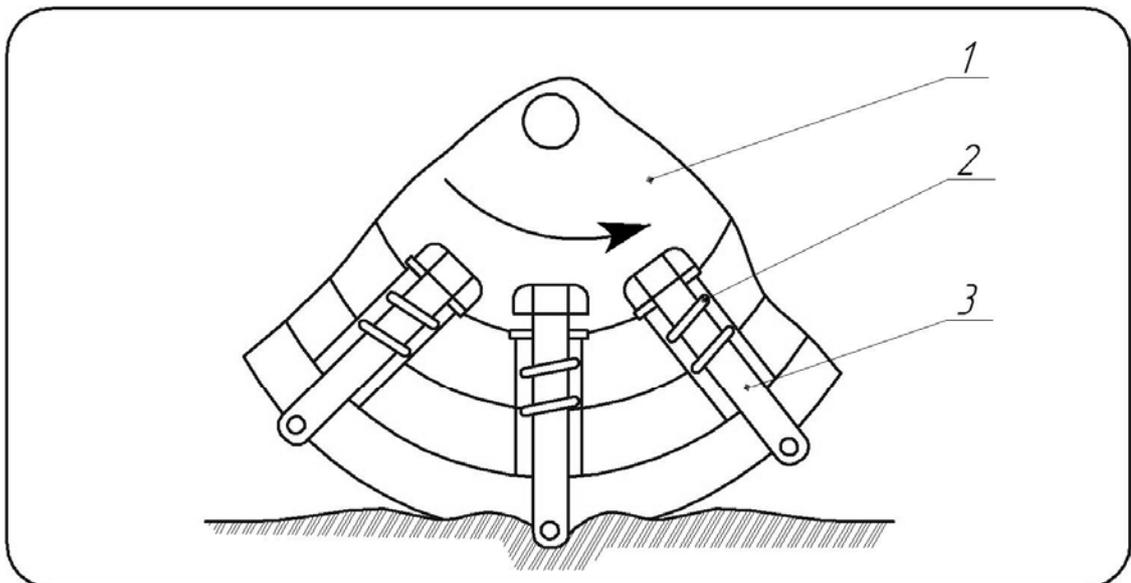


(Г – гусеничный трактор; ПГ – с полугусеничным ходом; 4×2 – колесный с задней ведущей осью, 4×4 – колесный со всеми ведущими колесами)

Рисунок 1.8 – Боковое отклонение трактора У с различными ходовыми системами на склоне крутизной 8 и 12 градусов, при прохождении пути в 30 м [90]

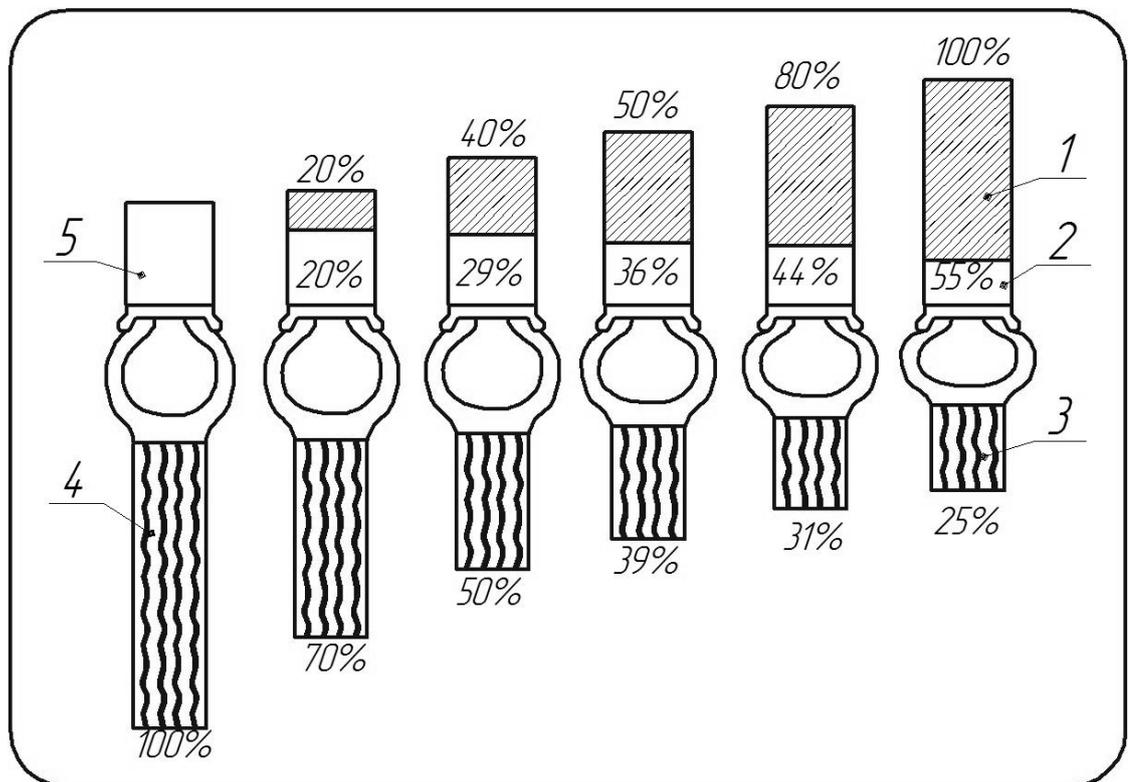


Рисунок 1.9 – Трактор К-701, оборудованный гусеничным ходом



1 - Колесо;
 2 - Возвратная пружина;
 3 - Выдвижной грунтозацеп.

Рисунок 1.10 – Установка дополнительных зацепов



Перегрузка (1) и одновременное пониженное давление воздуха (2) снижают срок службы шины (3). При номинальных (5) давлении воздуха и нагрузке шина имеет срок службы 100% (4)

Рисунок 1.11 – Зависимость срока службы шин от давления воздуха и нагрузки

как и с применением почвозацепов увеличить реакции в пятнах контакта колес с опорной поверхностью за счет увеличения их площади [48, 103, 113, 114, 115, 147, 151, 152]. Однако, как показали исследования, давлением в шинах можно манипулировать в узких пределах, так как с его понижением повышается износ шин, а увод вследствие эластичности колес усиливается (рис. 1.11).

По пути увеличения площади пятна контакта пошли и другие исследователи, результатом чего стало сдваивание колес (рис. 1.12) [77, 143], но при этом значительно увеличивается колея трактора, что накладывает ограничения на перечень возможных выполняемых технологических операций.

Рассмотренные технические решения позволили частично компенсировать факторы увода. Наиболее полная компенсация была реализована посредством внедрения способа асимметричного агрегата, при котором орудие смещается относительно трактора в поперечном направлении на величину, которая является функцией угла наклона опорной поверхности. При смещении крюковая нагрузка создает поворачивающий момент. Способ прошел лабораторные и производственные испытания, однако вследствие того, что угол наклона опорной поверхности является величиной случайной, а техническая реализация требует повышенных энергозатрат, то его осуществление оказалось возможным исключительно в ручном режиме при выглубленных рабочих органах сельскохозяйственной машины, при заторможенном тракторе, что с целью соблюдения адекватной технологической пропорции между величиной смещения, крюковым усилием и углом наклона опорной поверхности требует значительных затрат времени на переналадку (рис. 1.13).

В развитых странах Запада (Франция, Германия, США и т.д.) при создании специализированных тракторов для работы на склонах в их конструкцию закладывали более высокую маневренность и управляемость путем применения всех управляемых колес, за счет чего и улучшали курсовую устойчивость. Реализация этого способа позволила за более



Рисунок 1.12 – Повышение устойчивости трактора путем установки сдвоенных колес

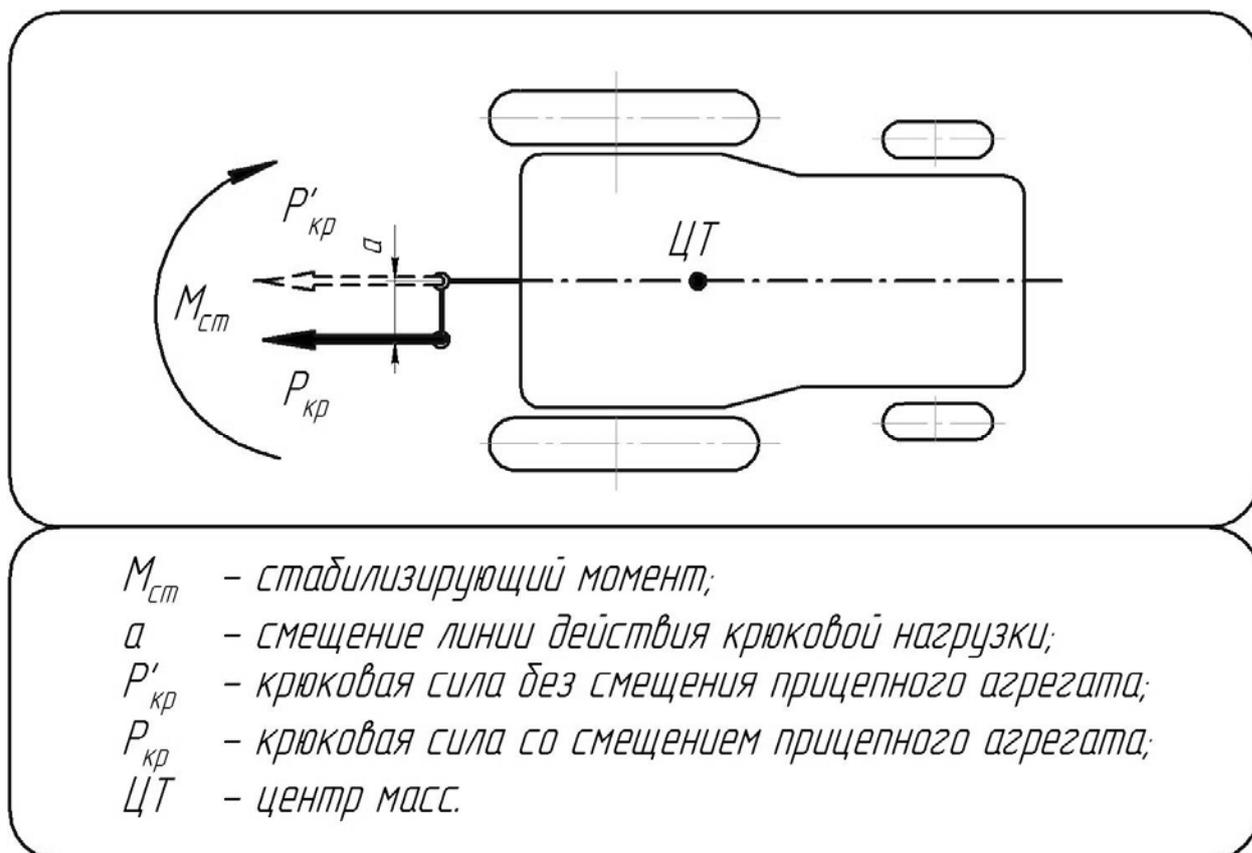


Рисунок 1.13 – Применение несимметричного агрегата для повышения курсовой устойчивости

короткий промежуток времени, по сравнению с равнинными модификациями, реагировать технической системе на внешние возмущения и возвращаться на заданный курс. Но способ имеет свои ограничения, особенно при выполнении технологических операций на высоких скоростях. Более крутые маневры заставляют трактор двигаться по дугам различной окружности, что вызывает действие на него значимого по величине опрокидывающего момента, обусловленного наличием центробежной силы, пропорциональной квадрату скорости и имеющей обратную зависимость с величиной радиуса (рис 1.14) [65, 68].

Все приведенные технические решения направлены на улучшение технико-технологических параметров трактора как управляемого объекта. Как у нас в стране, так и за рубежом, параллельно с этим проводились исследования по компенсации ограниченности физических возможностей тракториста за счет создания навигационных устройств и автоматов вождения. Эти исследования были дифференцированы по разным направлениям. Результатом проведения одного из них группой инженеров Всесоюзного научно-исследовательского института орошаемого овощеводства и бахчеводства в 1987 году стала установка на трактор фотоприемной системы, которая принимала сигнал в виде лазерного луча от расположенного в конце каждого гона репера [66, 112, 129]. Отклонение от заданного курса фиксировалось и отображалось на табло в кабине тракториста (рис.1.15), который посредством воздействия на органы управления в ручном режиме устранял увод. Основным недостатком подобных устройств является сложность и значительные затраты времени на переналадку и калибровку, а также ограниченность применения на полях с продольными перепадами по высоте в связи с тем, что лазерный луч распространяется прямолинейно. Над устранением этих недостатков работали в Институте механики машин АН ГССР. Результатом их деятельности стала разработка фотооптической системы, которая реагировала на разницу цветов поля и специального контрастного вещества,

которое наносилось на поверхность поля в составе

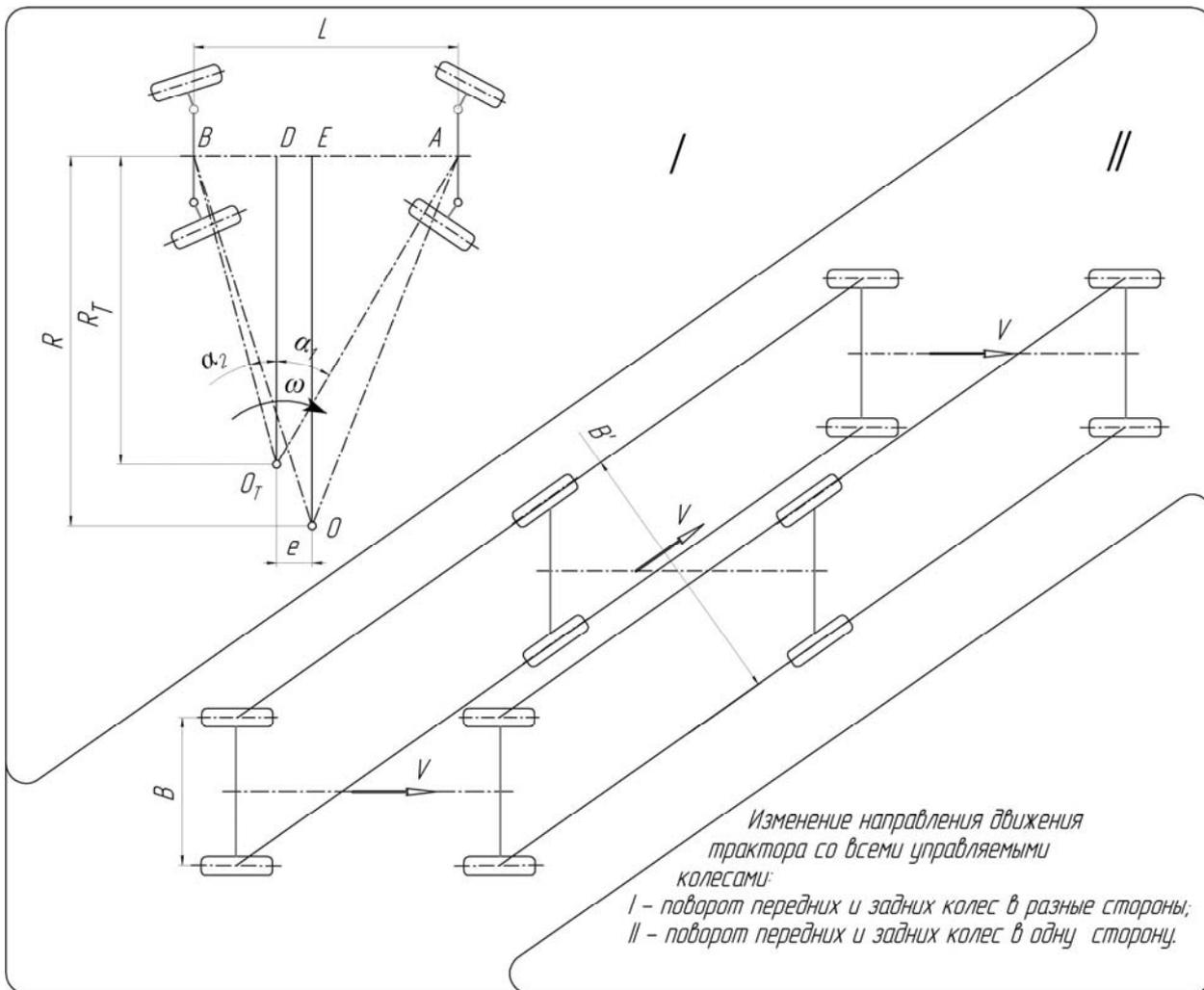


Рисунок 1.14 – Повышение курсовой устойчивости за счет управляемости всех колес

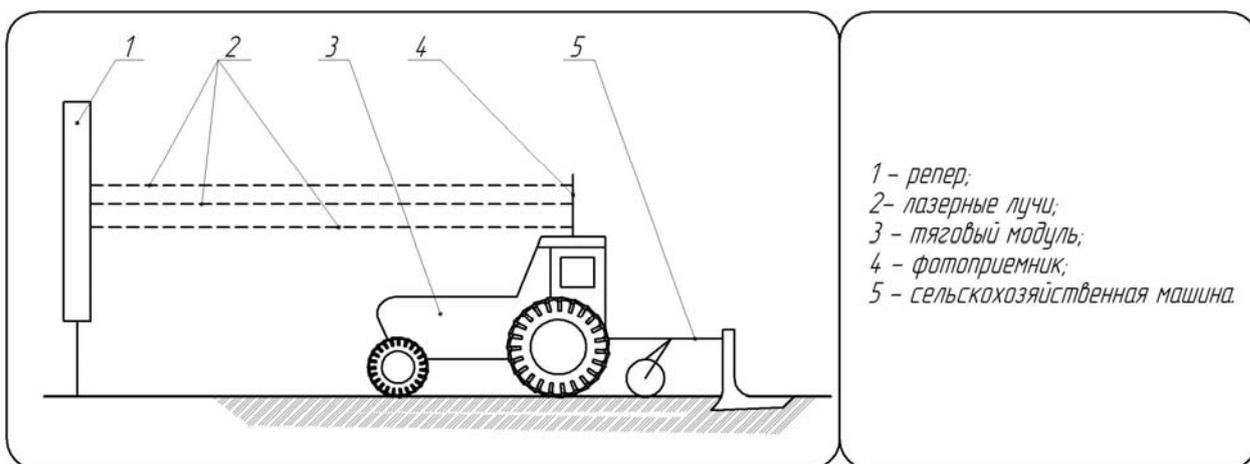


Рисунок 1.15 – Установка на трактор фотоприемной системы

пенного раствора и задавало траекторию движения МТА. Оборудование тракторов такими навигационными системами требует материальных затрат, которые при существующей урожайности культур делают нецелесообразным их применение с экономической точки зрения. Но получаемый технический эффект (эти устройства позволили улучшить курсовую устойчивость МТА до 12%, а при скоростных режимах работы этот показатель оказался еще выше) и заложенный в подобные устройства потенциал создали предпосылки для продолжения исследований в области автоматического вождения.

Так, в Горском сельскохозяйственном институте были разработаны и запатентованы способы автоматического вождения мобильных агрегатов (рис. 1.16). Устройства реализуемыми способами позволяют отслеживать, за счет системы жидкостных датчиков, дифференцированно рыскание передней и задней осей трактора и посредством связанных с ними электродвигателей, кинематически связанных с органами управления, воздействовать на них и направлять трактор по заданному курсу в автоматическом режиме. Основными недостатками указанных технических решений являются большое время отклика системы на внешние возмущения из-за применения жидкостных датчиков и повышенная вероятность ложного срабатывания системы из-за неровностей пути, что обуславливает, на наш взгляд, необходимость его доработки.

Параллельно в НАТИ велись исследования по разработке устройства для автоматического направления движения трактора по заданному курсу. В качестве эталона направления движения служил натянутый трос, относительно которого автоматизированная система отслеживала положение трактора. При отклонении реальной траектории от эталонной натяжение троса регистрировалось датчиком, передающим сигнал на золотник распределителя, который подавал рабочую жидкость в соответствующую отклонению полость гидроцилиндра, позволяющего поворачивать колеса на величину, пропорциональную уводу (рис. 1.17). Основным недостатком

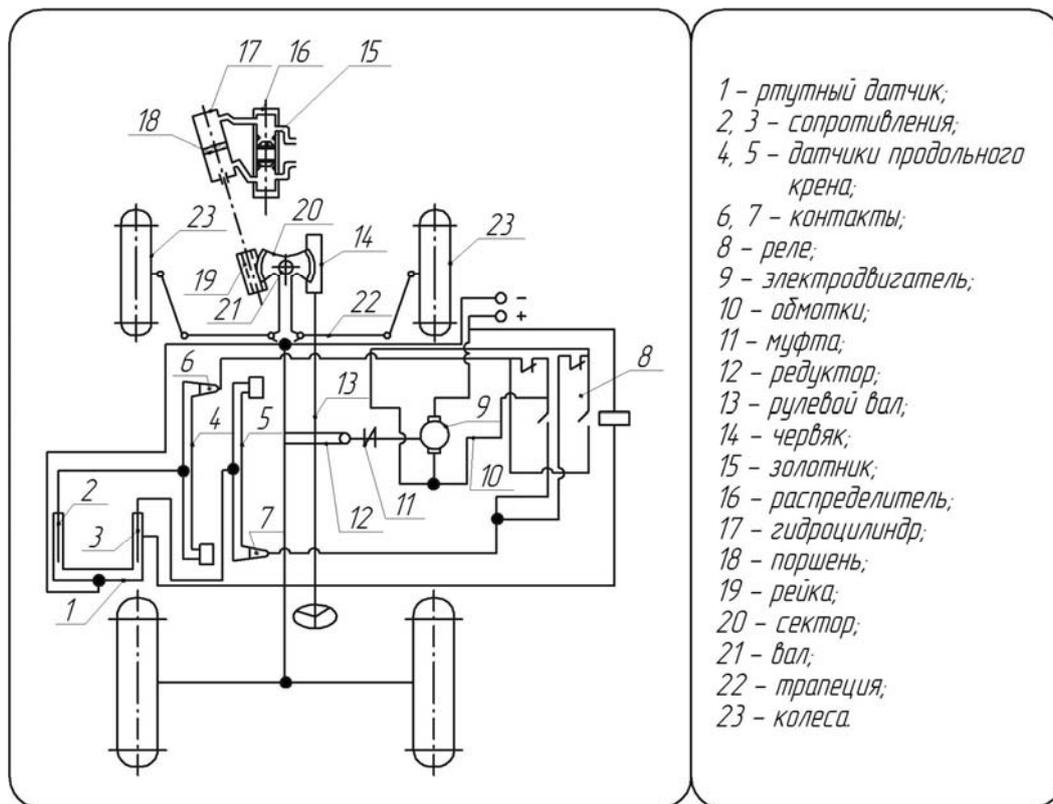


Рисунок 1.16 – Способы автоматического вождения мобильных агрегатов за счет подруливания электродвигателями

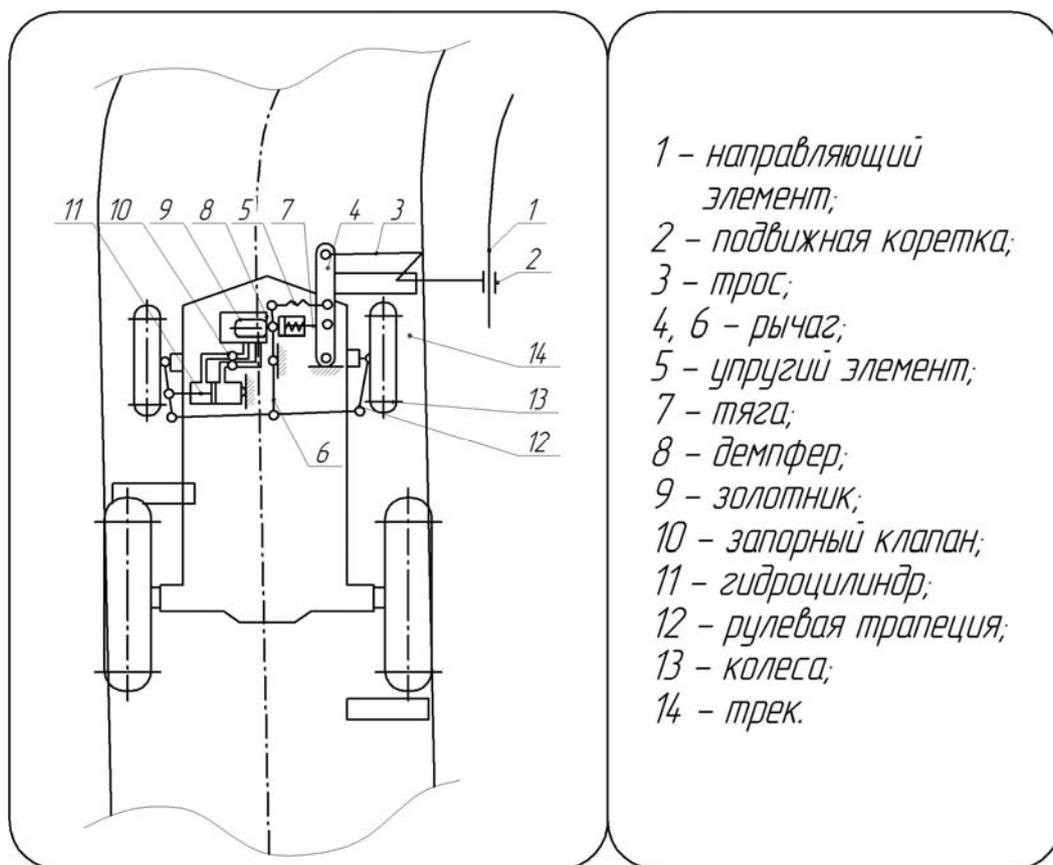


Рисунок 1.17 – Способы автоматического вождения мобильных агрегатов за счет применения эталона направления

подобных устройств является отличие стрелы прогиба троса в центре и по периферии, что не обеспечивает постоянства точности вождения, также в связи с неизбежной деформацией троса по мере удаления от края поля к центру отклонения от заданного курса будут расти и достигать значений, не соответствующих нормам агротехники, что накладывает ограничения на длину гона и ограничивает применение на полях с перепадами рельефа опорной поверхности.

В прошлом столетии, практически параллельно, ввиду признанной перспективности этого направления, были проведены многочисленные исследования по разработке и обоснованию конструктивно-режимных параметров наземных навигационных систем для автоматического вождения агрегатов по полю. Мы не ставили своей задачей приводить все существующие в нашей работе, рассмотрев лишь наиболее яркие представители, проведя их дифференциацию исходя из принципа действия. В настоящее время широко внедряются навигационные системы на базе систем глобального позиционирования, таких, как GPS и ГЛОНАСС, позволяющие, как указывалось выше, компенсировать ограниченность физических возможностей тракториста и обеспечивать высокую точность движения агрегата от гона к гону, при отсутствии недостатков, присущих рассмотренным наземным навигационным системам. Однако, как показал опрос специалистов, новейшие агротехнологии не могут реализовать свой потенциал при работе в сложных рельефных условиях, в том числе поперек склона. Для задействования более полного их резерва эффективности необходимо закладывать в саму конструкцию трактора как управляемого объекта выдерживать заданный курс. Этот факт создает предпосылки для проведения дальнейших исследований, направленных на повышение эффективности эксплуатации тракторов, в аспекте повышения их курсовой устойчивости.

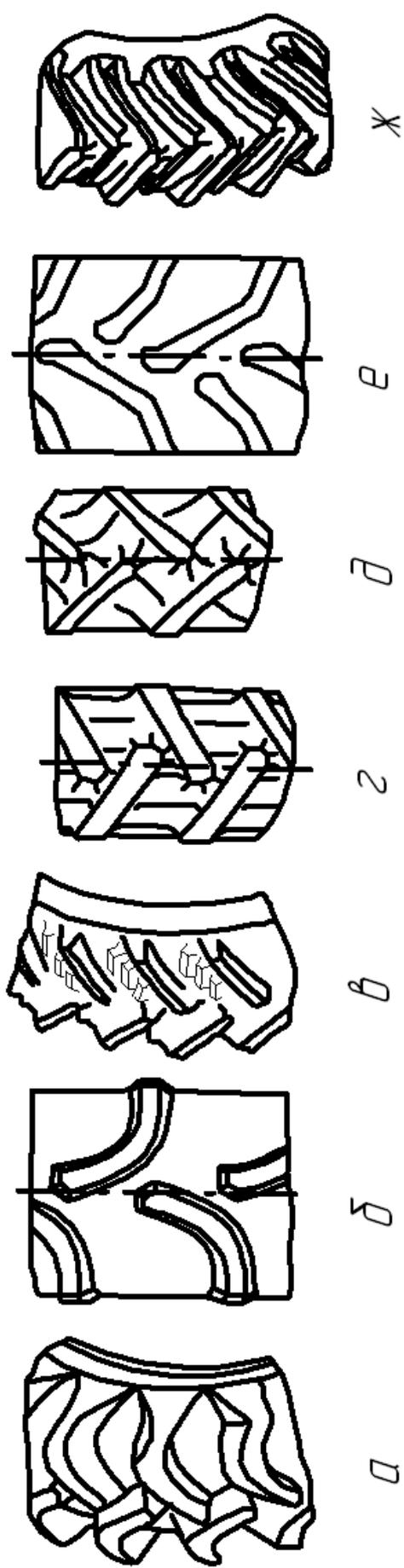
1.4 Анализ перспективы конструктивно-технологического развития движителя колесного трактора

1.4.1 Актуальность и перспективы модернизации колесного движителя в аспекте стабилизации курсового движения

Анализ технических решений и технологий для повышения устойчивости движения при работе в режиме действия боковой скатывающей силы показал, что в указанном аспекте проблема реализации резерва эффективности колесных тракторов не имеет оптимального решения. Чтобы улучшить курсовую устойчивость, необходимо полностью либо в значимой степени компенсировать факторы, вызывающие увод. Как показала изученная информация, для реализации этого большинство ведущих специалистов склоняются к целесообразности решения проблемы за счет совершенствования движительной установки [1, 2, 3, 4, 8, 10, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 30, 34].

Движитель – это техническая система, которая непосредственно передает усилие с моторно-трансмиссионной установки на почву и посредством протектора раскладывает подводимое усилие в пятне контакта с опорной поверхностью на векторы, различные по модулю и направлению. Именно от конфигуративных характеристик почвозацепов зависят технологические пропорции в направлениях и величинах указанных векторов, т.е. динамика взаимодействия колес с опорной поверхностью, что в конечном итоге в значимой степени определяет качество движения всего трактора в целом. Именно этот факт обозначил предпосылки для создания почвозацепов с различной геометрией адекватно условиям их эксплуатации (рис. 1.18) [48, 103, 114, 115, 151, 152].

Как показывает практика, в зависимости от конфигурации протектора можно в широких пределах изменять силовые факторы в пятнах контакта. Это оказывается возможным без вмешательства в конструкцию трактора, что не требует значительных материальных затрат на реализацию. Очевидные



а – «Michelin»; *б* и *в* – «Clebber-Colomb»; *г* и *д* – «Pirelli»; *е* – «Goodyear»; *жс* – «Firestone»
 Рисунок 1.18 – Рисунки протектора сельскохозяйственных шин фирм:

преимущества и, как показал анализ, нереализованный потенциал, заложенный в способ изменения конфигурации протектора с точки зрения повышения эффективности эксплуатации тракторов на склонах, создал предпосылки для продолжения исследования этого вопроса с целью улучшения технологических качеств трактора. Таким образом, необходимо разработать протектор, который способен без потери тяговых свойств разложить подводимое в пятно его контакта с опорной поверхностью усилие, чтобы появляющиеся при этом реакции в значимой степени, с точки зрения соблюдения норм агротехники, эргономики и экономической эффективности, компенсировали факторы увода.

1.4.2 Протектор для повышения курсовой устойчивости колесного трактора

В инженерно-техническом обеспечении сельскохозяйственного производства, как показал анализ литературных данных [165, 166, 167], особое место занимают винтовые поверхности, которые нашли свое применение при проектировании насосных колес, лемешно-отвальных поверхностей, режущего инструмента, теории шнеков. В каждом из перечисленных случаев при вращении конфигуративная специфика винтовой поверхности обуславливает взаимное перемещение двух материалов под действием появляющихся при этом реактивных сил. Используя указанное явление, в начале прошлого столетия инженерами фирмы Fordson был спроектирован трактор, в котором в качестве движителя использовали шнеки (рис. 1.19), позволившие адаптироваться практически к любой опорной поверхности. Движение осуществлялось за счет вращения шнеков, геометрическая ось которых совпадала по направлению с продольной осью трактора. Основным недостатком такого движителя является отрицательное воздействие на почвенный пласт. Так как именно протектор обеспечивает разложение касательной реакции почвы на векторы различного модуля и направления,



Рисунок 1.19 – Шнекороторный Fordson

что при буксовании движителя заставляет перемещаться материал опорной поверхности вдоль почвозацепа в соответствующих рисунку направлениях, то проводя аналогию с шнековым движителем, мы выдвигаем гипотезу о возможности компенсации возмущающих движение факторов на склоне за счет боковых реактивных составляющих касательной силы тяги, которые предполагается провоцировать путем использования теории винтовых поверхностей при проектировании почвозацепов протектора. Это стало предпосылкой для создания алгоритма диссертационных исследований, которая в результате интегрирования приведенных выше выводов привела к разработке протектора пневматической шины, на который получен патент № 2330763 (рис.1.20). Существующие конфигурации протектора для стабилизации курсового движения провоцируют создание «пассивных»

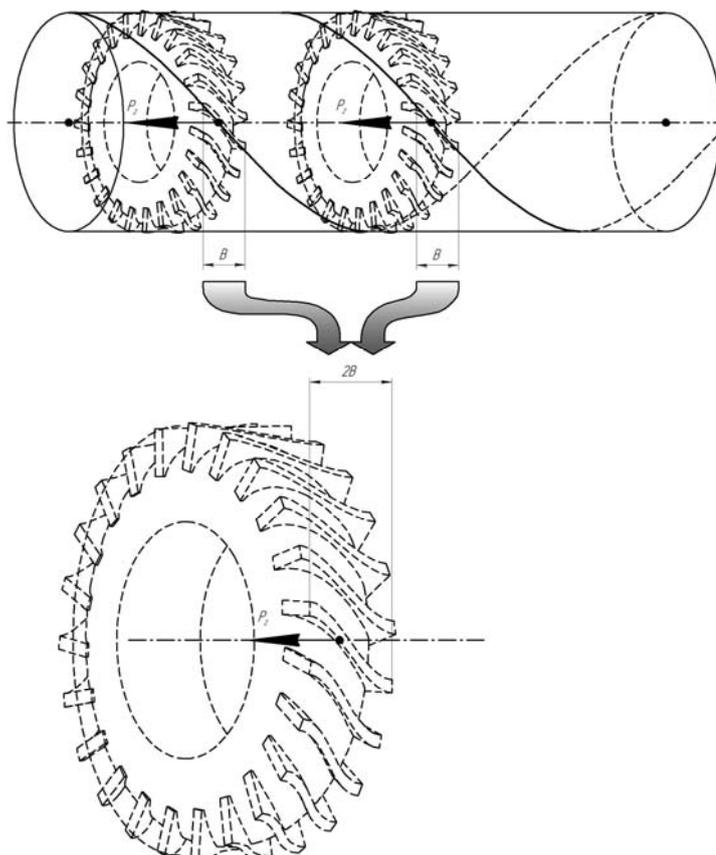


Рисунок 1.20 – Предлагаемый протектор пневматической шины

удерживающих боковых реакций. Запатентованный нами способ обуславливает появление в пятне контакта за счет применения винтовой поверхности «активных» реакций, заставляющих трактор перемещаться в боковом направлении вверх по склону пропорционально уводу вниз по склону. Взаимная компенсация этих явлений позволяет в большей степени соответствовать реальной траектории движения заданному курсу. Регулирование реакций предполагается осуществлять за счет манипулирования углом трения материалов: материала протектора, выполненного по винту, и материала опорной поверхности.

Выводы

Компенсацию воздействия боковой составляющей веса мобильного энергетического средства, приводящей к отклонению машины от

технологической траектории, возможно обеспечить за счет изменения конфигуративных параметров элементов движителя взаимодействующих с опорной поверхностью в пределах реализации мощности утрачиваемой на буксование до 20 % на различных грунтах и углах склона сельскохозяйственных угодий при условии сохранения допустимого технологического ресурса.

В связи с чем была поставлена цель и определены задачи исследования.

Цель. Предотвращение увода машины от технологической траектории в условиях склонового земледелия.

Задачи.

1. Проанализировать способы проектно-теоретического и эксплуатационно-технологического развития средств, для обеспечения курсовой устойчивости трактора при выполнении сельскохозяйственных операций в составе МТА;

2. Провести теоретические исследования силового баланса при взаимодействии элементов протектора с несущими грунтами в процессе движения машины по наклонной опорной поверхности;

3. Исследовать функциональные взаимосвязи между мощностью реализуемой на курсовую устойчивость трактора и конфигуративно-геометрическими параметрами рабочих элементов протектора колесного движителя;

4. Разработать способ интерактивного анализа изменения геометрических характеристик рабочих элементов протектора движителя колесного трактора при выполнении технологических операций;

5. Провести производственные исследования процесса отклонения экспериментального трактора от технологической траектории для различных ландшафтных условий при реализации заданных эксплуатационных режимов;

6. Дать технико-экономическое обоснование целесообразности развития и внедрения предлагаемого технического решения.

2 Теоретическое обоснование методики определения влияния конфигуративно-параметрических характеристик протектора на процесс стабилизации траектории движения МТА

2.1 Анализ режимного обеспечения процесса стабилизации курсового движения колесного трактора

В процессе движения трактора поперек склона составляющая его веса, параллельная уклону, деформирует колесо в поперечном направлении, что обуславливает отклонение продольной плоскости колеса от центра тяжести пятна контакта на некоторую величину e (рис. 2.1). В результате каждый почвозацеп протектора захватывает порцию грунта со смещением относительно захваченной порции предыдущего почвозацепа. При этом вектор абсолютной скорости точки обода колеса (здесь предполагается точка приложения главного вектора реакций со стороны почвы в пятне контакта) расположен под углом γ к заданному курсу. Также увод, как указывалось выше, осуществляется за счет перераспределения нормальных реакций между верхним и нижним по склону колесами, что оказывается возможным только в случае разблокированности дифференциала [43, 44, 46, 64, 65, 68, 101, 102, 107, 130, 136, 146]. В связи с тем, что абсолютное большинство операций в агротехнологическом цикле осуществляется с заблокированным дифференциалом, т.е. в режиме жесткой связи между полуосями колес, в расчетной части моментом увода, обусловленным дисбалансом реакций, мы пренебрегаем. Это условие будет действительно и при реализации дальнейших аналитических процедур.

Очевидно, что в процессе стабилизации траектории движения за один и тот же промежуток времени работа протектора должна обеспечивать смещение каждого колеса машины вверх по склону на величину, адекватную величине увода, что возможно только в случае компенсации боковой силы, направленной вниз по склону. Т.е. процесс компенсации возмущений

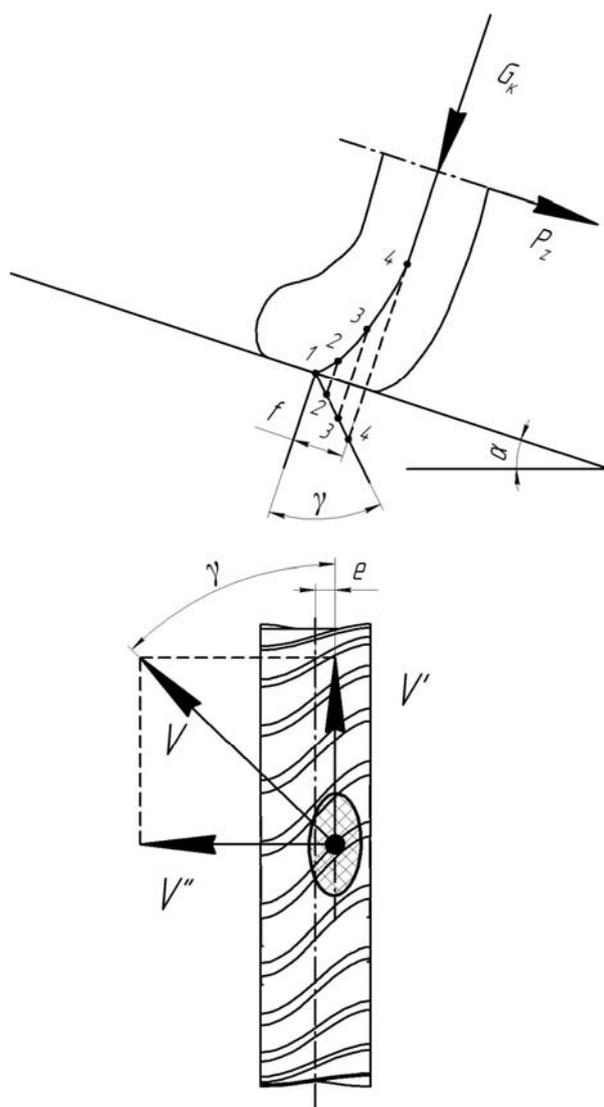


Рисунок 2.1 – Схема взаимодействия колеса с наклонным опорным основанием в пятне контакта:

G_K – текущее значение нормальной нагрузки, Н; P_Z – составляющая веса трактора параллельная склону, Н; f – смещение продольной оси шины от продольной оси колеса, м; α – угол наклона опорной поверхности, град; γ – угол увода, град; e – смещение центра пятна контакта от продольной оси шины, м; V – вектор абсолютной скорости, м/с; V' – продольная составляющая вектора абсолютной скорости, м/с; V'' – поперечная составляющая вектора абсолютной скорости, м/с

дифференцируется по двум этапам. На первом этапе реакции, создаваемые работой протектора, должны компенсировать боковую силу, на втором сместить колесо (за счет обусловленного касательной силой тяги проскальзывания относительно опорной поверхности) - вверх по склону путем перераспределения реакций в пятне контакта. Для получения математических выражений, отражающих условия возможности стабилизации оборудованного модернизированным протектором трактора в режиме выполнения им технологических операций на поперечном склоне, воспользуемся физической моделью, анализ которой проведем в соответствии с теорией А.М. Ляпунова.

При реализации модели примем следующие допущения, которые не приведут к значимым для инженерных расчетов погрешностям [44]:

- сопротивлением воздуха пренебрегаем вследствие малости рабочих скоростей трактора в процессе выполнения технологических операций [44, 46, 101];

- конструкция шин такова, что коэффициенты поперечной и угловой жесткости не зависят от нормальных нагрузок на колеса;

- углы увода передних колес одинаковы и равны некоторому среднему углу увода переднего эквивалентного колеса, которое заменяет в силовом отношении правое и левое колеса. Углы увода задних колес также одинаковы и равны среднему углу увода заднего эквивалентного колеса. При этом геометрические пятна контактов колес представляют собой соответствующие проекции на опорную поверхность точки пересечения геометрических осей колес с продольной плоскостью трактора;

Последнее допущение предполагает одинаковое направление расположения почвозацепов протектора (рис. 2.2). Каждый грунтозацеп выполнен по винтовой поверхности, что в целом колесо представляет многозаходный винт.

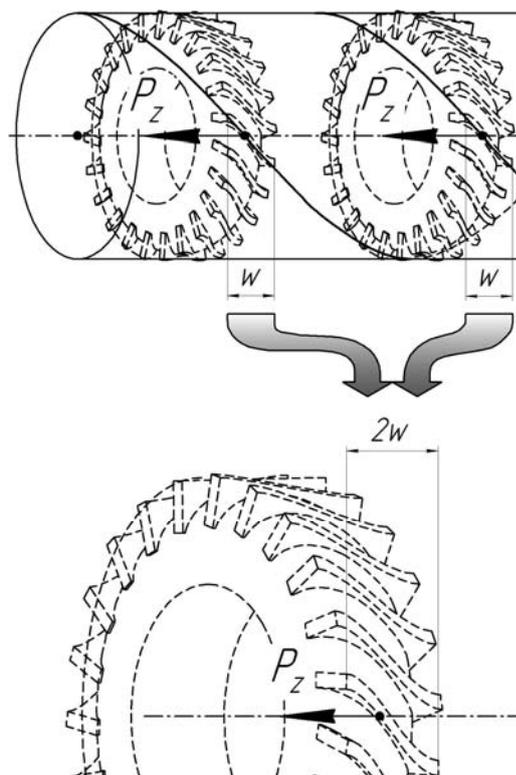


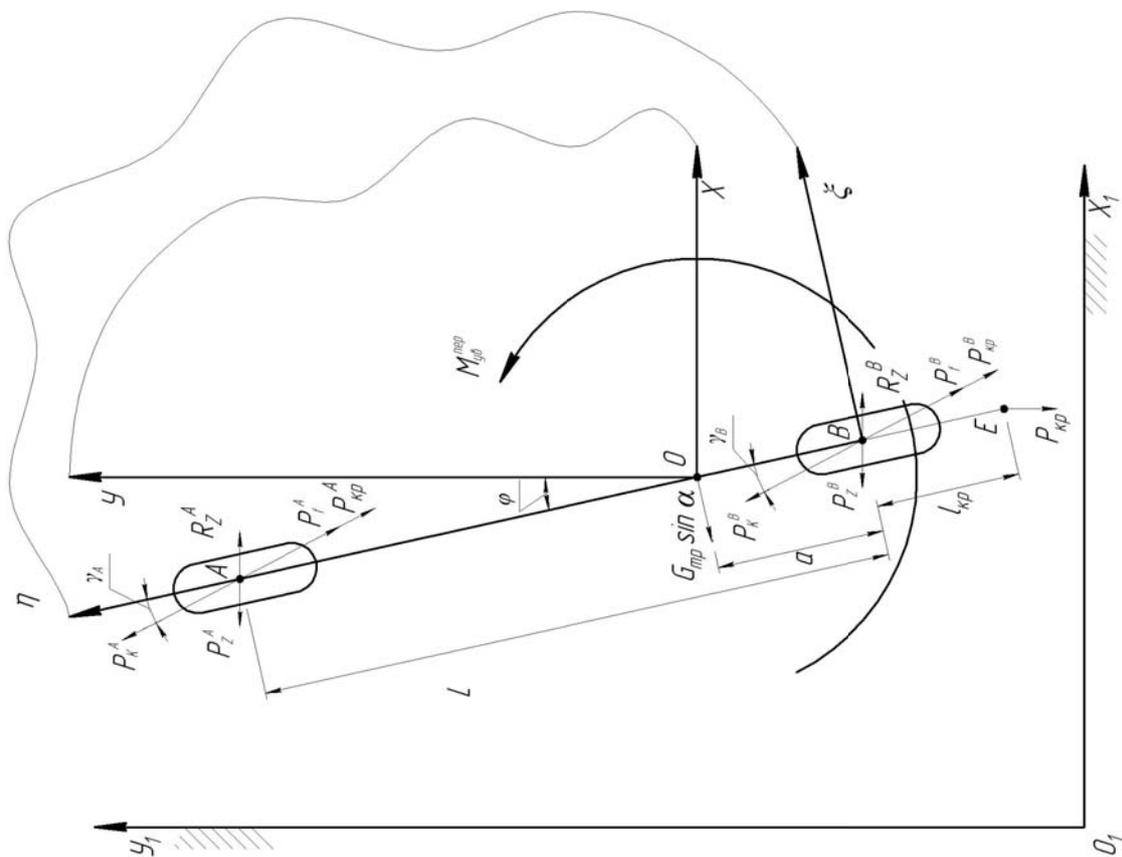
Рисунок 2.2 – Схема взаимодействия колеса с опорным основанием в пятне контакта:

w – ширина профиля шины, м

Также наложим дополнительные условия на режим агрегатирования трактора, т.е. примем, что его работа осуществляется в составе агрегата с прицепным орудием. Это позволит наиболее полно подвергнуть анализу заложенный в протектор потенциал с точки зрения стабилизации курсового движения, т.к. работа с навесным орудием вследствие его жесткой связи с энергетическим модулем предполагает наличие значительных по величине боковых удерживающих реакций со стороны почвы. Другими словами, мы стремимся учесть в модели (рис. 2.3) экстремальный режим работы протектора. Покажем на ней неподвижную плоскость склона XOY . Точки A и B – точки пересечения осей передних и задних соответственно колес с плоскостью симметрии трактора. Центр масс трактора обозначим как C , причем $AC = a$ и $AB = L$ – расстояния от центра масс до задней оси трактора

P_K^A и P_K^B – касательные силы тяги, развиваемые передними и задними эквивалентными колесами соответственно, Н; P_Z^A и P_Z^B – доля веса трактора, параллельная уклону, приходящаяся на переднее и заднее эквивалентное колесо соответственно, Н; P_f^A и P_f^B – суммарные силы сопротивления качению на переднем и заднем соответственно эквивалентных колесах, Н; $P_{кр}^A$ и $P_{кр}^B$ – крюковая нагрузка, приходящаяся на переднее и заднее эквивалентные колеса соответственно, Н; R_Z^A и R_Z^B – суммарные боковые реакции в пятнах контакта переднего и заднего эквивалентных колес соответственно, Н; $G_{пр}$ – вес трактора, Н; γ_A и γ_B – углы увода переднего и заднего эквивалентных колес соответственно, равные средним углам увода колес на каждом мосту (угловая деформация); φ – суммарный угол увода, град; $M_{ув}$ – момент увода, Н/м; a – расстояния от центра масс до задней оси трактора, м; $l_{кр}$ – координата расположения точки прицепа, м

Рисунок 2.3 – Схема сил, действующих в плоскости склона на эквивалентные колеса трактора 4×4.



и колесная база соответственно. Координату расположения точки прицепа обозначим как $l_{кр}$. Жесткости шин при анализе считаем известными.

Очевидно, что движение плоскости ХОУ соответствует невозмущенному движению агрегата. Поворот плоскости $\eta B\xi$ или поперечное отклонение центра масс X_c свидетельствуют о возмущении курсового движения.

Дифференциальные уравнения абсолютного движения агрегата будут выглядеть следующим образом:

$$m\ddot{x}_c = \sum F_x, \quad (2.1)$$

где m – доля массы трактора, приходящаяся на переднее эквивалентное колесо, кг;

\ddot{x}_c – ускорение центра масс вдоль оси ОХ, м/с²;

$\sum F_x$ – сумма проекций сил на ось ОХ, Н.

$$m\ddot{y}_c = \sum F_y, \quad (2.2)$$

где \ddot{y}_c – ускорение центра масс вдоль оси ОУ, м/с²;

$\sum F_y$ – сумма проекций сил на ось ОУ, Н.

$$J_c\ddot{\varphi} = \sum M_i, \quad (2.3)$$

где J_c – момент инерции центра масс, кг/м²;

$\ddot{\varphi}$ – угловое ускорение, рад/с²;

$\sum M_i$ – сумма моментов относительно вертикальной оси,

проходящей через центр масс, Н*м.

При уводе трактора курсовой угол меняется в узких пределах, поэтому дуги увода имеют достаточно большой радиус [41, 51, 70, 74, 83, 86, 106, 108, 118, 120, 125], что позволяет нам ввести допущение о незначимом для расчетов отличии дуги окружности увода и ее хорды. Другими словами, в процессе увода, обусловленного эластичностью пневматической шины, каждое колесо стремится сместиться в поперечном по отношению к заданному курсу направлении. Т.е. для определения условий устойчивого движения, в качестве индикатора, для рассмотрения достаточно одной степени свободы, т.е. поперечное смещение трактора. В идеальном случае, что допустимо для теоретических исследований, по факту равенства нулю указанного смещения можно судить о моменте начала компенсации протектором увода, обусловленного эластичностью шины.

Совокупность сделанных нами выводов и допущений позволяет преобразовать приведенную на (рис. 2.3) физическую модель в другую, в которой мы будем рассматривать трактор как физический маятник с одной степенью свободы, т.е. качание в поперечном относительно заданного курса направлении (рис. 2.4).

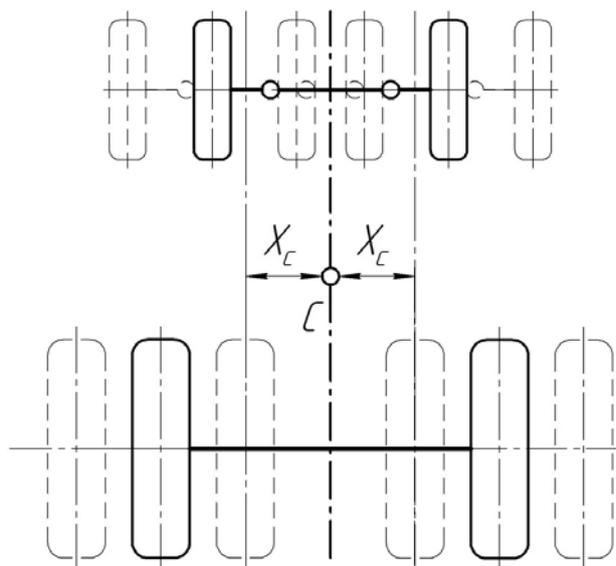


Рисунок 2.4 – Трактор, представленный моделью «маятник»

Дальнейшая реализация теоретических исследований предполагает вывод условий начала стабилизации дифференцированно для каждого моста, что наиболее соответствует специфике и логистике настоящих исследований.

Схема сил в соответствии с принятой моделью «маятник» для переднего эквивалентного колеса представлена на (рис. 2.5).

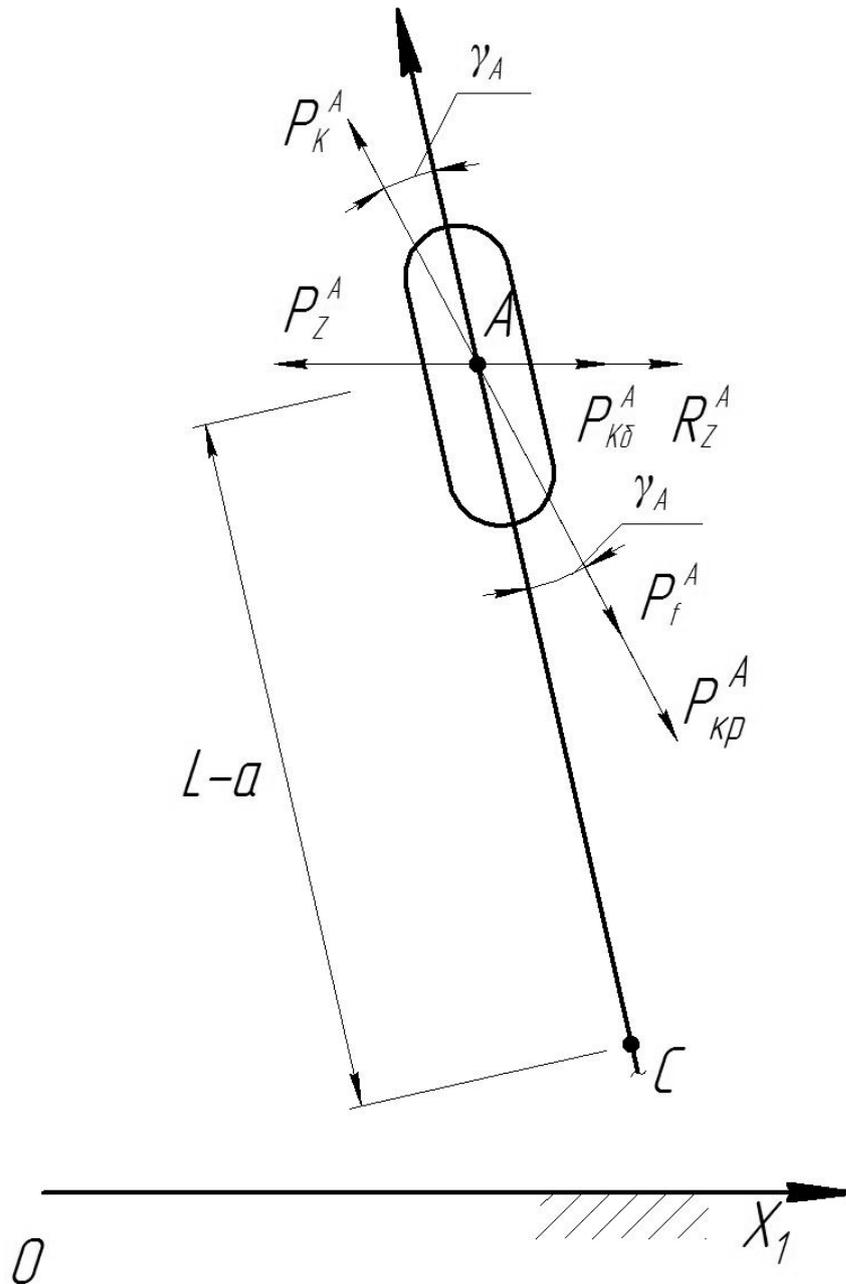


Рисунок 2.5 – Схема сил в соответствии с принятой моделью «маятник» для переднего эквивалентного колеса

Дифференциальное уравнение поперечных колебаний переднего моста будет аналогично уравнению (2.1):

$$m_A \ddot{x}_A = \sum F_x, \quad (2.4)$$

где m_A – доля массы трактора, приходящаяся на переднее эквивалентное колесо, кг;

\ddot{x}_A – ускорение переднего эквивалентного колеса вдоль оси ОХ, м/с².

После подстановки в правую часть уравнения (2.4) значений внешних сил дифференциальное уравнение колебаний переднего моста вдоль оси Х примет следующий вид:

$$m_A \ddot{x}_A = -P_K^A \cdot \gamma_A + P_f^A \cdot \gamma_A + P_{кр}^A \cdot \gamma_A - P_Z^A + R_Z^A + P_{Кб}^A. \quad (2.5)$$

Долю веса трактора, параллельную уклону, приходящуюся на переднее эквивалентное колесо P_Z^A , возможно определить, пользуясь классической методикой [168], составив уравнение моментов относительно геометрического пятна контакта заднего эквивалентного колеса колеса В (рис. 2.6)

$$\sum_{мом}^B F_i = 0 \quad (2.6)$$

$$Y_A = \frac{G_{mp} \cdot a \cdot \cos \alpha}{L} \quad (2.7)$$

Таким образом, вертикальная нагрузка на переднее эквивалентное колесо определится выражением (2.8):

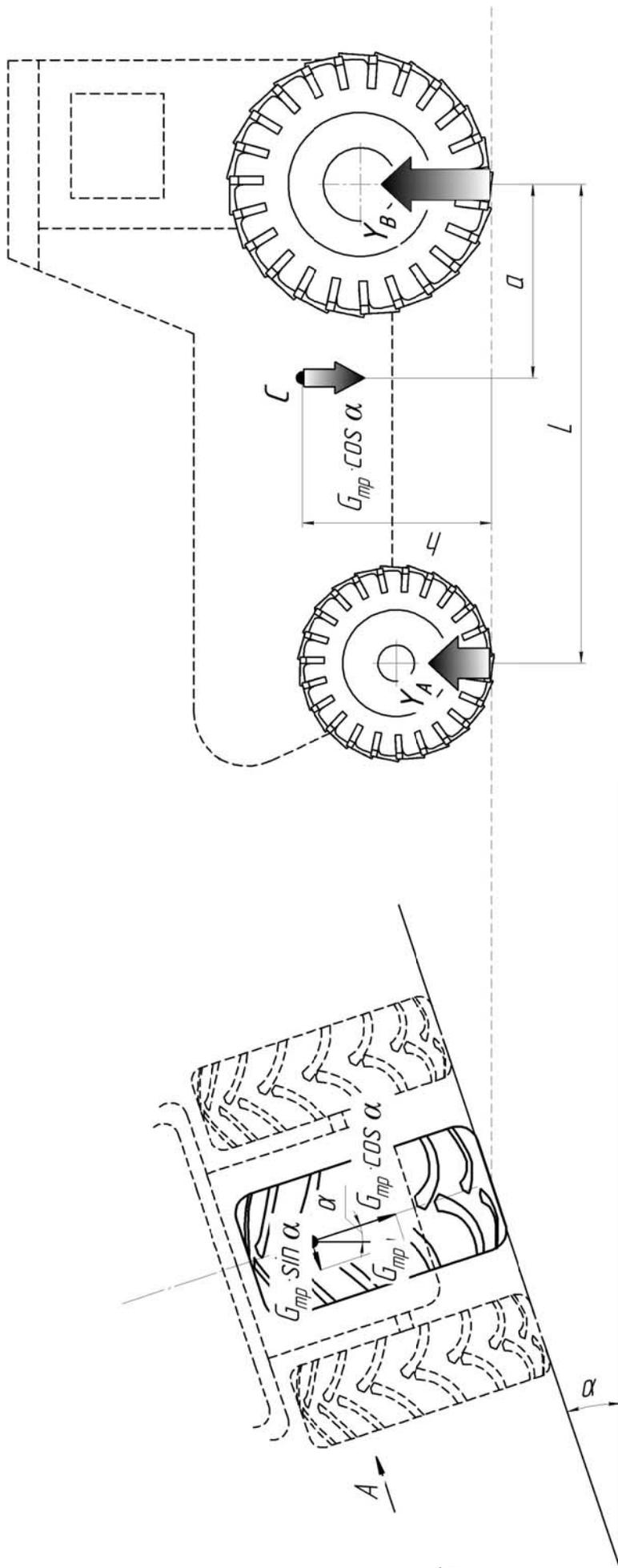


Рисунок 2.6 - Схема трактора с эквивалентными колесами при его работе поперек склона

$$G_{mp.пер.} = \frac{G_{mp.} \cdot a}{L} \quad (2.8)$$

Тогда выражение (7) примет вид:

$$P_Z^A = \frac{a \cdot G_{mp.} \cdot \sin \alpha}{L} \quad (2.9)$$

Для P_Z^B путем выполнения аналогичных действий получим выражение (2.10):

$$P_Z^B = \frac{(L - a) \cdot G_{mp.} \cdot \sin \alpha}{L} \quad (2.10)$$

В случае компенсации реализуемыми протектором реакциями возмущающих боковых усилий колебания трактора в поперечном направлении можно считать малыми и упругими. Т.е. для дальнейшей реализации аналитических процедур мы допускаем, что бокового скольжения в пятне контакта, вызванного срывом почвенного кирпича, не происходит. В соответствии с этим боковую реакцию почвы R_Z^A можно представить в следующем виде:

$$R_Z^A = x_A \cdot k_{упр.п} \quad (2.11)$$

где x_A - упругое смещение эквивалентного колеса в поперечном направлении в результате сдвига и смятия почвы протектором в пятне их контакта, м;

$k_{упр.п}$ - коэффициент упругости почвы, Н/м.

В соответствии с выражением (2.11) и (2.9) уравнение (2.5) преобразуется следующим образом:

$$\ddot{x}_A - x_A \cdot k_{\text{упр.н}} = \frac{P_{K\sigma}^A - P_K^A \cdot \gamma_A + P_f^A \cdot \gamma_A + P_{кр}^A \cdot \gamma_A - \frac{a \cdot G_{mp} \cdot \sin \alpha}{L}}{m_A}, \quad (2.12)$$

Уравнение (2.12) имеет вид:

$$\ddot{x}_A + 2n \cdot \dot{x}_A + k^2 \cdot x_A = q, \quad (2.13)$$

где $n = 0$

$$k^2 = k_{\text{упр.н}},$$

$$q = \frac{P_{K\sigma}^A - P_K^A \cdot \gamma_A + P_f^A \cdot \gamma_A + P_{кр}^A \cdot \gamma_A - \frac{a \cdot G_{mp} \cdot \sin \alpha}{L}}{m_A}$$

Существование постоянного слагаемого в правой части дифференциального уравнения означает, что равновесное положение переднего моста отклонено от заданного курса на некоторую величину x_{A0} в поперечном относительно заданного курса направлении [65, 109]. Эта величина представляет собой как бы статическое отклонение плоскости симметрии переднего моста в положении относительного равновесия от заданного курса, если принять, что мост является маятником, поперечные колебания которого осуществляются относительно заданного курса (рис. 2.7).

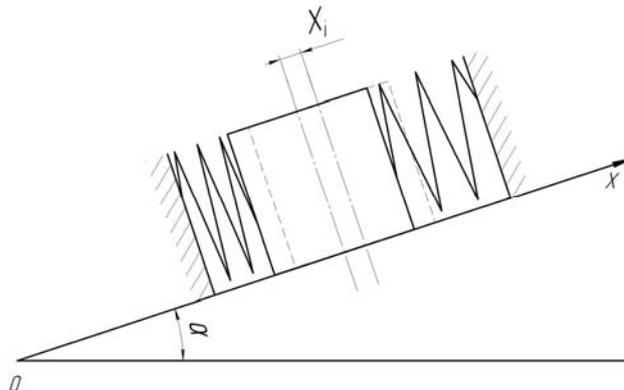


Рисунок 2.7 – Колесо трактора в виде модели «маятник» с одной степенью свободы в режиме статического отклонения от заданного курса

Величину x_{A0} можно найти из уравнения (2.13), положив, что $x_A = x_{A0} = const$. Тогда ускорение $\ddot{x}_A = 0$. Откуда:

$$x_{A0} = \frac{P_{K\delta}^A + P_K^A \cdot \gamma_A - P_f^A \cdot \gamma_A - P_{кр}^A \cdot \gamma_A + \frac{a \cdot G_{mp} \cdot \sin \alpha}{L}}{m_A \cdot k_{уп.н}}, \quad (2.14)$$

Очевидно, что компенсация увода окажется возможной за счет поперечного смещения колеса вверх по склону, спровоцированного работой протектора только в случае обращения в ноль выражения (2.14). Это произойдет при равенстве нулю числителя:

$$P_{K\delta}^A + P_K^A \cdot \gamma_A - P_f^A \cdot \gamma_A - P_{кр}^A \cdot \gamma_A + \frac{a \cdot G_{mp} \cdot \sin \alpha}{L} = 0, \quad (2.15)$$

Откуда условие начала стабилизации движения для переднего эквивалентного колеса, определяющее величину потребной для начала стабилизации реакции, реализуемой модернизированным протектором, приобретет следующий вид:

$$P_{K\delta}^A = P_f^A \cdot \gamma_A - P_K^A \cdot \gamma_A + P_{кр}^A \cdot \gamma_A - \frac{a \cdot G_{mp} \cdot \sin \alpha}{L}, \quad (2.16)$$

Путем аналогичных аналитических процедур можно получить потребную для компенсации дестабилизирующих усилий реакцию, которую необходимо реализовать протектором заднего эквивалентного колеса:

$$P_{K\delta}^B = P_f^B \cdot \gamma_B - P_K^B \cdot \gamma_B + P_{кр}^B \cdot \gamma_B - \frac{(L - a) \cdot G_{mp} \cdot \sin \alpha}{L}, \quad (2.17)$$

Предварительные расчеты показали, что полная компенсация факторов увода возможна только в случае применения колес с одинаковым направлением исполнения протектора на нижнем и верхнем бортах. Реализация этого способа создает необходимость осуществлять переброс шин при выполнении технологической операции в обратном направлении, что не может являться оптимальным с точки зрения соблюдения агротехнических сроков, так как это мероприятие приведет к значительным простоям трактора, а также с точки зрения экономической целесообразности внедрения такого способа стабилизации. В связи с этим необходимо доказать возможность в значимой степени стабилизации траектории движения путем применения шин с противоположным исполнением рисунка протектора на левом и правом бортах трактора.

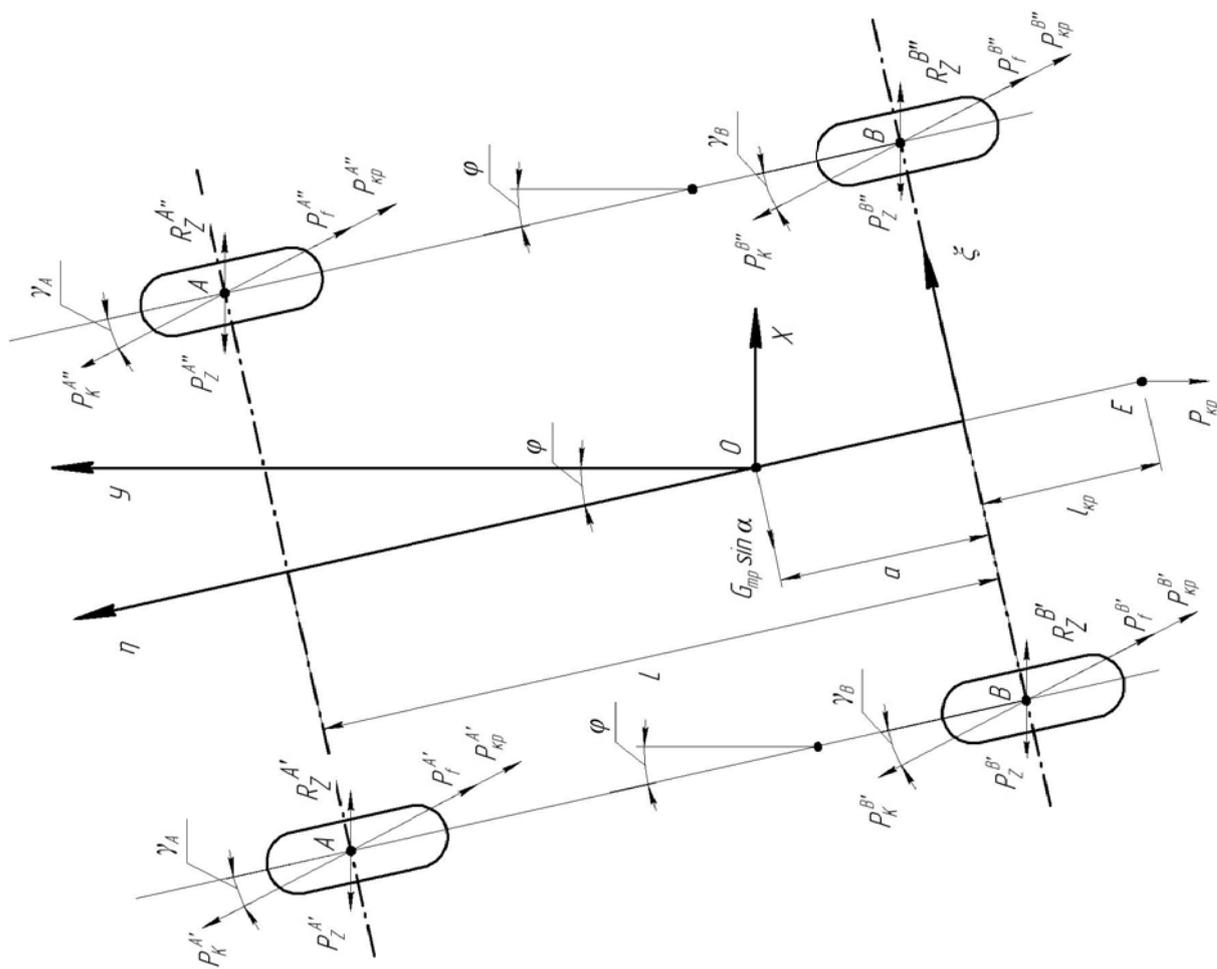
2.2 Взаимосвязь динамических и кинематических показателей процесса дестабилизации траектории движения

Для обеспечения доказательства возможности установки шин с противоположно направленным рисунком протектора на борта трактора на первом этапе необходимо обосновать факт положительной разницы в интенсивности работы протекторов нижних и верхних по склону колес за счет дисбаланса нормальных реакций на них. На втором этапе необходимо обосновать конструктивно-параметрические характеристики протектора для реализации возможности компенсации им увода за счет указанной разницы.

Дальнейшая реализация теоретических исследований предполагает учет как динамических, так и кинематических показателей процесса дестабилизации траектории движения: скорость бокового увода и боковая составляющая веса трактора, приходящаяся на колесо. Физически это возможно путем введения в алгоритм исследований такого параметра, как мощность, который интегрирует в себе указанные показатели. Для этого нам необходима схема сил и составляющих скорости, для чего покажем схему сил и скоростей, действующих в пятнах контакта трактора при движении поперек склона (рис. 2.8)

φ - курсовой угол; $P_{кр}$ - сила тяги на крюке, Н; P_f - сила сопротивления качению, Н; V_A, V_B - вектора абсолютной скорости переднего и заднего эквивалентных колес соответственно, км/ч; V'_A, V'_B - продольные составляющие вектора абсолютной скорости переднего и заднего эквивалентных колес соответственно, км/ч; V''_A, V''_B - поперечные составляющие вектора абсолютной скорости переднего и заднего эквивалентных колес соответственно, км/ч; γ_A, γ_B - угол увода переднего и заднего эквивалентных колес соответственно, град; P_Z^A, P_Z^B - боковая составляющая веса трактора переднего и заднего эквивалентных колес, Н; $G_{мп}$ - вес трактора, Н; α - угол наклона опорной поверхности, град; L - колесная база трактора, м; a - продольная координата расположения центра тяжести трактора, м;

Рисунок 2.8 – Схема сил, действующих на колесный трактор 4x4, при движении поперек склона при заблокированном дифференциале.



При этом мощности, реализуемые боковой составляющей веса – «мощности сползания» - определяются выражениями (2.19), (2.21), (2.23), (2.25):

для переднего нижнего по склону колеса:

$$N_{cn}^{A'} = V'_A \cdot \gamma'_A \cdot P_Z^{A'}; \quad (2.18)$$

$$N_{cn}^{A'} = V'_A \cdot \gamma'_A \cdot \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{mp.} \cdot a}{L} \cdot \cos \alpha + \frac{G_{mp.} \cdot a}{L} \cdot h \cdot \sin \alpha}{B} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2.19)$$

для заднего нижнего по склону колеса:

$$N_{cn}^{B'} = V'_B \cdot \gamma'_B \cdot P_Z^{B'}; \quad (2.20)$$

$$N_{cn}^{B'} = V'_B \cdot \gamma'_B \cdot \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{mp.} \cdot (L-a)}{L} \cdot \cos \alpha + \frac{G_{mp.} \cdot (L-a)}{L} \cdot h \cdot \sin \alpha}{B} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2.21)$$

для переднего верхнего по склону колеса:

$$N_{cn}^{A''} = V''_A \cdot \gamma''_A \cdot P_Z^{A''}; \quad (2.22)$$

$$N_{cn}^{A''} = V''_A \cdot \gamma''_A \cdot \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{mp.} \cdot a}{L} \cdot \cos \alpha - \frac{G_{mp.} \cdot a}{L} \cdot h \cdot \sin \alpha}{B} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2.23)$$

для заднего верхнего по склону колеса:

$$N_{cn}^{B''} = V''_B \cdot \gamma''_B \cdot P_Z^{B''}; \quad (2.24)$$

$$N_{cn}^{B''} = V_B'' \cdot \gamma_B'' \cdot \frac{\frac{B \cdot G_{mp.} \cdot (L-a)}{L} \cdot \cos \alpha - \frac{G_{mp.} \cdot (L-a)}{L} \cdot h \cdot \sin \alpha}{B} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2.25)$$

где γ – угловая деформация соответствующей шины, рад [48].

$$\gamma = \kappa_{c\delta} \cdot \Delta \quad (2.26)$$

где $\kappa_{c\delta}$ - коэффициент связи между угловой и поперечной деформациями соответствующей шины, рад./м[48];

Δ - поперечная деформация соответствующей шины, м[48].

$$\Delta = \frac{P_Z}{c_Z}, \quad (2.27)$$

c_Z - поперечная жесткость соответствующей шины, Н/м[48].

$$\kappa_{c\delta} = \frac{1}{c_\gamma}, \quad (2.28)$$

где c_γ - коэффициент пропорциональности между поперечной и угловой деформацией соответствующей шины, м/рад[48].

$$c_\gamma = \frac{G_K}{G_{K \max}} \cdot \left[2,4 - 1,8 \cdot \frac{G_K}{G_{K \max}} + \left(0,4 \cdot \frac{G_K}{G_{K \max}} \right)^2 \right], \quad (2.29)$$

где G_K - текущее значение нормальной нагрузки на соответствующую шину, Н;

$G_{K \max}$ - максимальное (для данного значения давления в шине) значение нагрузки на соответствующую шину при относительной деформации $\frac{h_z}{b} = 0,19$ (h_z - нормальный прогиб шины, м; b - ширина профиля шины, м), Н[48].

Определение мощности сползания было выполнено по следующей модели (рис 2.9). Графическая интерпретация N_{cn} для каждого колеса будет выглядеть следующим образом (рис 2.10) (Приложение Ж),

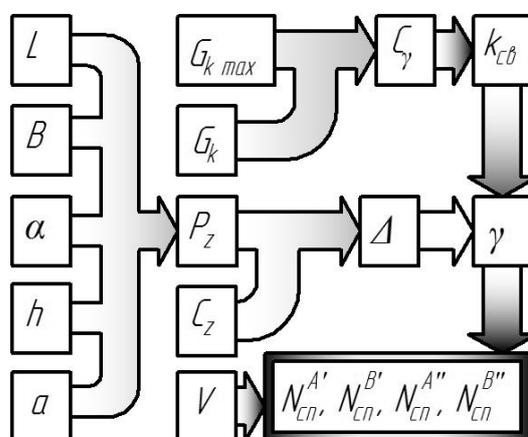


Рисунок 2.9 - Процедурная модель получения выражений для мощности сползания

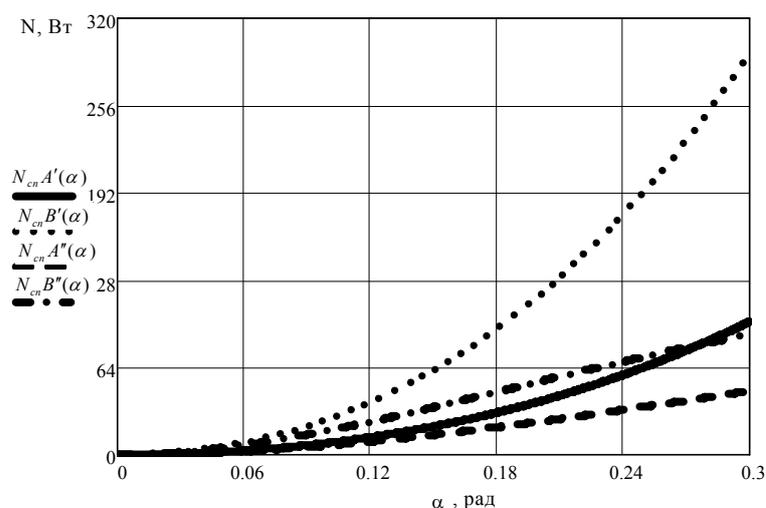


Рисунок 2.10 - Мощность сползания N_{cn} на каждом колесе в зависимости от угла наклона опорной поверхности α .

2.3. Наличие реактивной составляющей касательной силы тяги как фактор стабилизации курсового движения

2.3.1 Реактивная составляющая касательной силы тяги

Если в поперечном направлении приложить мощность посредством движительной установки, то возможно компенсировать увод. Это возможно только за счет мощности, расходуемой на буксование, которую посредством манипулирования параметрами протектора необходимо в соответствующей сползанию пропорции направить вверх по склону.

Мощности буксования для переднего и заднего мостов определяются по классической методике [64, 102]

Для переднего (2.30) и заднего (2.31) колес соответственно нижнего борта по склону:

$$N_{\delta}^{A'} = \delta_A' \cdot V_A' \cdot P_K^{A'} , \quad (2.30)$$

$$N_{\delta}^{B'} = \delta_B' \cdot V_B' \cdot P_K^{B'} . \quad (2.31)$$

Для переднего (32) и заднего (33) колес соответственно верхнего борта по склону:

$$N_{\delta}^{A''} = \delta_A'' \cdot V_A'' \cdot P_K^{A''} , \quad (2.32)$$

$$N_{\delta}^{B''} = \delta_B'' \cdot V_B'' \cdot P_K^{B''} . \quad (2.33)$$

В связи с тем, что интенсивность взаимодействия колеса с опорной поверхностью имеет прямую зависимость с нагрузкой на него, то можно

сделать вывод о том, что стабилизация может быть осуществлена за счет нижнего, т.е. более нагруженных колес нижнего борта. Реализация стабилизирующей мощности возможна за счет разложения протектором касательной силы тяги на реактивные составляющие, среди которых, с точки зрения компенсации увода, нас интересует боковая $P_{K\delta}$ (рис. 2.11). Тогда

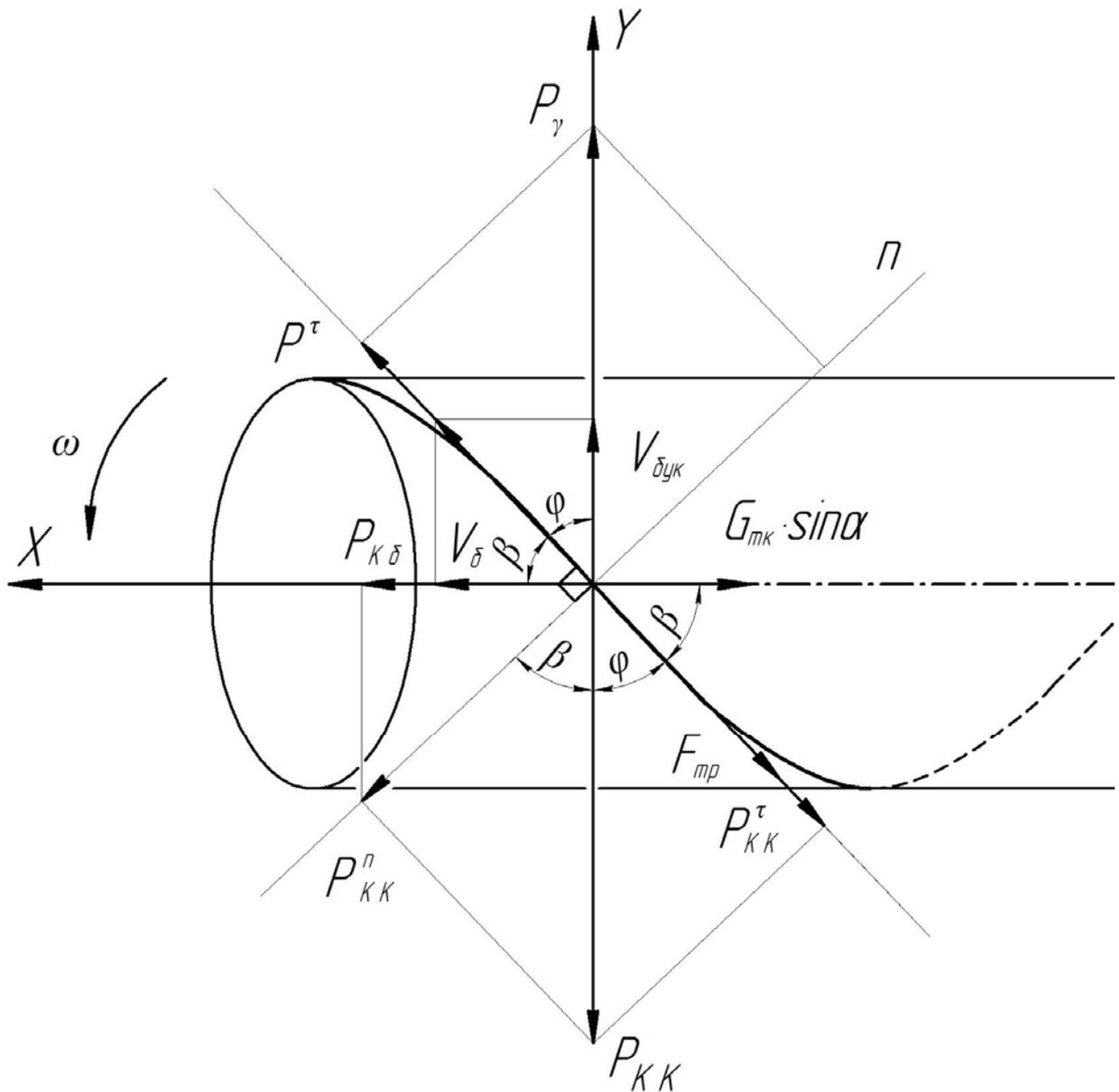


Рисунок 2.11 - Модель взаимодействия рисунка протектора с опорной поверхностью.

мощности стабилизации для переднего $N_{cm}^{A'}$ и заднего $N_{cm}^{B'}$ колес соответственно нижнего борта определяются выражениями (2.34) и (2.35):

$$N_{cm}^{A'} = P_{K\delta}^{A'} \cdot V_{cm}^{A'} \quad (2.34)$$

$$N_{cm}^{B'} = P_{K\delta}^{B'} \cdot V_{cm}^{B'} \quad (2.35)$$

где $P_{K\delta}^{A'}, P_{K\delta}^{B'}$ - боковая составляющая касательной силы тяги для переднего и заднего колес соответственно нижнего борта, Н;

$V_{cm}^{A'}, V_{cm}^{B'}$ - скорость бокового перемещения переднего и заднего колес соответственно нижнего борта, м/с.

Мощность стабилизации для переднего $N_{cm}^{A''}$ и заднего $N_{cm}^{B''}$ колес соответственно верхнего борта определится выражением:

$$N_{cm}^{A''} = P_{K\delta}^{A''} \cdot V_{cm}^{A''} \quad (2.36)$$

$$N_{cm}^{B''} = P_{K\delta}^{B''} \cdot V_{cm}^{B''} \quad (2.37)$$

где $P_{K\delta}^{A''}, P_{K\delta}^{B''}$ - боковая составляющая касательной силы тяги для переднего и заднего колес соответственно верхнего борта, Н;

$V_{cm}^{A''}, V_{cm}^{B''}$ - скорость бокового перемещения переднего и заднего колес соответственно верхнего борта, м/с.

Определение мощности стабилизации было выполнено по следующей модели (рис 2.12).

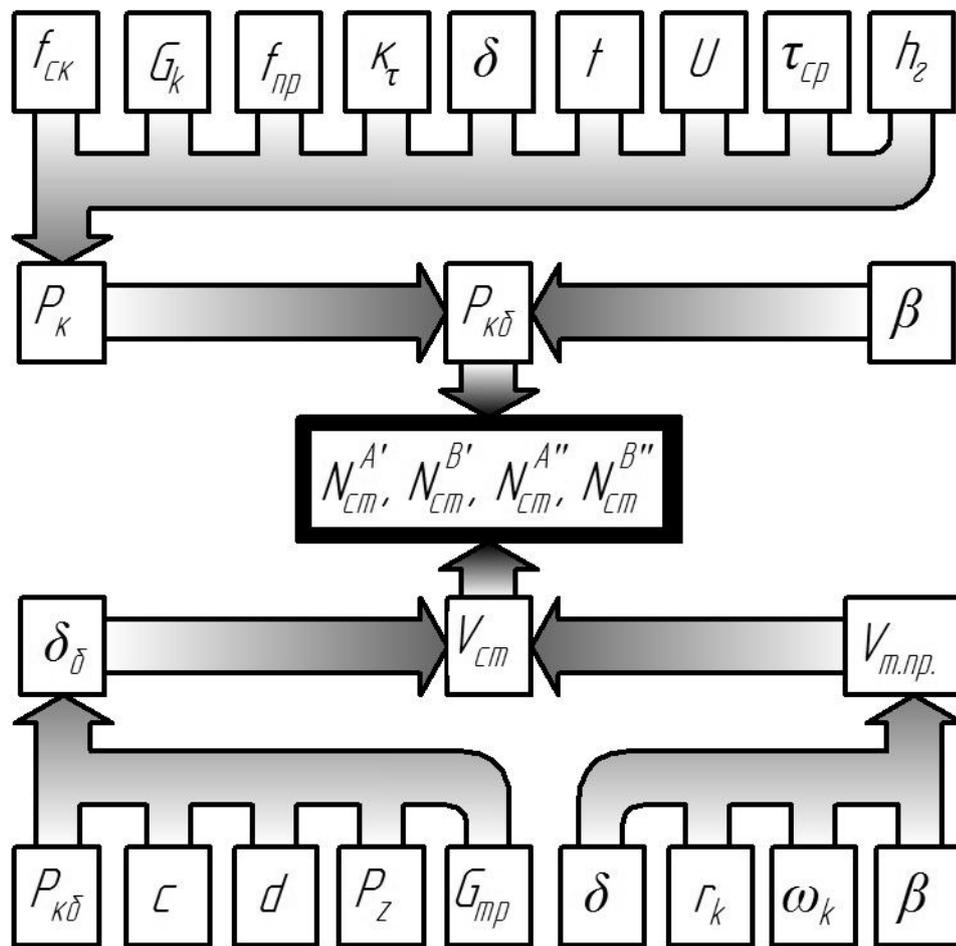


Рисунок 2.12 - Процедурная модель получения выражений для мощности стабилизации

Графическая интерпретация N_{cm} для всех колес будет выглядеть следующим образом (рис. 2.13) (Приложение 3)

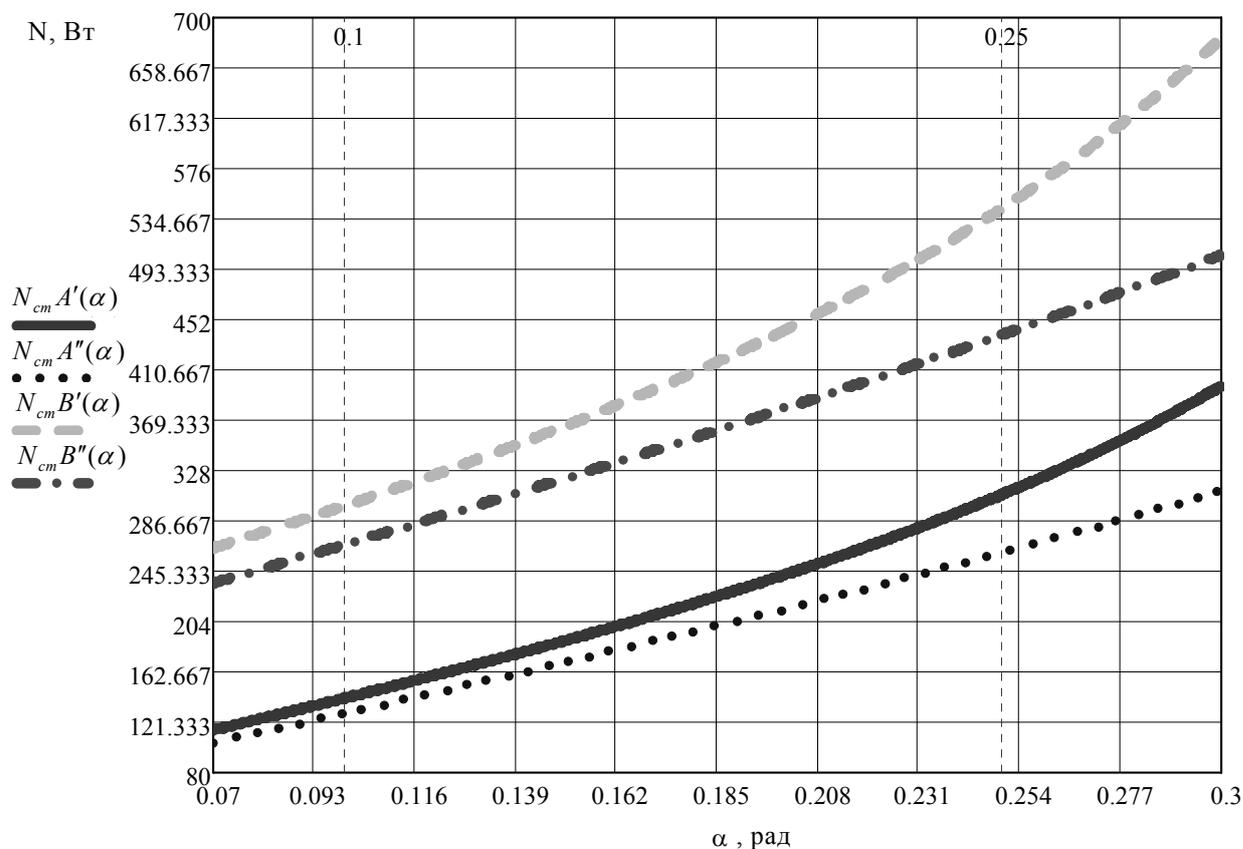


Рисунок 2.13 - Мощность стабилизации N_{cm} на каждом колесе в зависимости от угла наклона опорной поверхности α .

Боковую составляющую касательной силы тяги $P_{K\delta}$ определим по выражениям (2.38), (2.39), (2.40), (2.41) в соответствии с (рис. 2.11)

Для переднего и заднего колес соответственно нижнего борта по склону:

$$P_{K\delta}^{A'} = P_K^{A'} \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta \quad (2.38)$$

$$P_{K\delta}^{B'} = P_K^{B'} \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta \quad (2.39)$$

Для переднего и заднего колес соответственно верхнего борта по склону:

$$P_{K\delta}^{A''} = P_K^{A''} \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta \quad (2.40)$$

$$P_{K\delta}^{B''} = P_K^{B''} \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta \quad (2.41)$$

Исходя из методики определения касательной силы тяги представленной в [64] её выражения для каждого колеса будут выглядеть (2.42) – (2.45)(Приложение И):

$$P_K^{A'} = \frac{f_{ск} \cdot k_{\tau} \cdot G_K^{A'}}{\delta^{A'} \cdot U^{A'}} \left[\ln ch \frac{\delta^{A'} \cdot U^{A'}}{k_{\tau}} - f_{np} \left(\frac{1}{ch \left(\frac{\delta^{A'} \cdot U^{A'}}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_2^{A'} \cdot U^{A'}}{t^{A'}} \quad (2.42)$$

$f_{ск}$ - коэффициент трения скольжения;

f_{np} - приведенный коэффициент трения;

k_{τ} - коэффициент деформации, м;

τ_{cp} - модуль среза;

U - длина площади контакта, м;

h_2 - высота грунтозацепа, м;

t - шаг грунтозацепа, м.

$$P_K^{B'} = \frac{f_{ск} \cdot k_{\tau} \cdot G_K^{B'}}{\delta^{B'} \cdot U^{B'}} \left[\ln ch \frac{\delta^{B'} \cdot U^{B'}}{k_{\tau}} - f_{np} \left(\frac{1}{ch \left(\frac{\delta^{B'} \cdot U^{B'}}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_2^{B'} \cdot U^{B'}}{t^{B'}} \quad (2.43)$$

$$P_K^{A''} = \frac{f_{ck} \cdot k_\tau \cdot G_K^{A''}}{\delta^{A''} \cdot U^{A''}} \left[\ln ch \frac{\delta^{A''} \cdot U^{A''}}{k_\tau} - f_{np} \left(\frac{1}{ch \left(\frac{\delta^{A''} \cdot U^{A''}}{k_\tau} \right)} - 1 \right) \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_2^{A''} \cdot U^{A''}}{t^{A''}} \quad (2.44)$$

$$P_K^{B''} = \frac{f_{ck} \cdot k_\tau \cdot G_K^{B''}}{\delta^{B''} \cdot U^{B''}} \left[\ln ch \frac{\delta^{B''} \cdot U^{B''}}{k_\tau} - f_{np} \left(\frac{1}{ch \left(\frac{\delta^{B''} \cdot U^{B''}}{k_\tau} \right)} - 1 \right) \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_2^{B''} \cdot U^{B''}}{t^{B''}} \quad (2.45)$$

Скорость бокового перемещения V_{cm} определим по выражениям (2.46-2.49) в соответствии с (рис. 2.11)

Для переднего и заднего колес соответственно нижнего борта по склону:

$$V_{cm}^{A'} = V_{m.np.}^{A'} \cdot \delta_{\delta}^{A'} \quad (2.46)$$

$$V_{cm}^{B'} = V_{m.np.}^{B'} \cdot \delta_{\delta}^{B'} \quad (2.47)$$

где $V_{m.np.}^{A'}$, $V_{m.np.}^{B'}$ - боковая скорость точки протектора переднего и заднего колес соответственно нижнего по склону борта, м/с,

$\delta_{\delta}^{A'}$, $\delta_{\delta}^{B'}$ - боковое буксование переднего и заднего колес соответственно нижнего по склону борта;

Для переднего и заднего колес соответственно верхнего борта по склону:

$$V_{cm}^{A''} = V_{m.np.}^{A''} \cdot \delta_{\bar{o}}^{A''} \quad (2.48)$$

$$V_{cm}^{B''} = V_{m.np.}^{B''} \cdot \delta_{\bar{o}}^{B''} \quad (2.49)$$

где $V_{m.np.}^{A''}, V_{m.np.}^{B''}$ - боковая скорость точки протектора переднего и заднего колес соответственно верхнего по склону борта, м/с,

$\delta_{\bar{o}}^{A''}, \delta_{\bar{o}}^{B''}$ - боковое буксование переднего и заднего колес соответственно верхнего по склону борта.

Графическая интерпретация V_{cm} для всех колес будет выглядеть следующим образом (рис. 2.14)

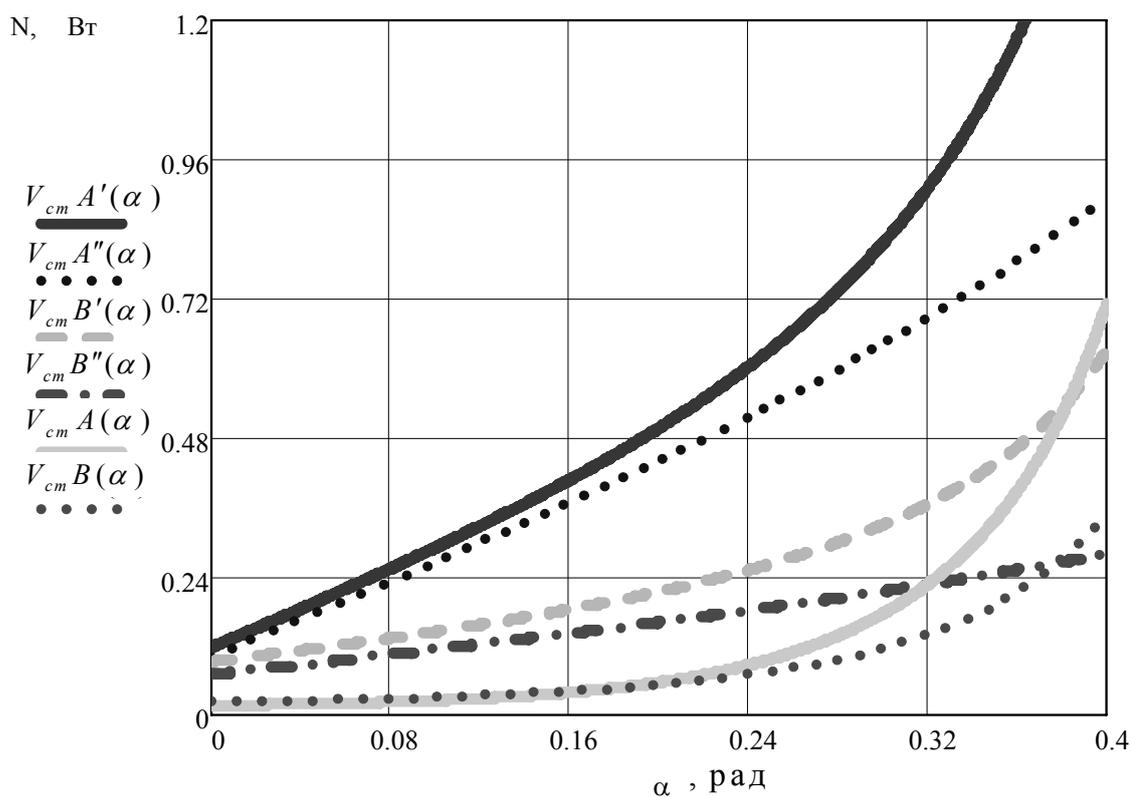


Рисунок 2.14 - Скорость стабилизации V_{cm} на каждом колесе в зависимости от угла наклона опорной поверхности α .

Рисунок 2.14 показывает, что с увеличением угла склона скорость стабилизации растет, что связано с увеличением крена трактора. Скорость стабилизации при этом адекватна скорости бокового увода. Если динамический стабилизирующий показатель окажется адекватным дестабилизирующему, о чем можно будет судить по мощности сползания и по мощности стабилизации, то движение трактора будет устойчивым.

2.3.2 Эксплуатационно-технологическая специфика модернизированного протектора

Необходимо принять во внимание, что взаимное перемещение материала грунта и материала протектора будет иметь место только в том случае, когда угол, образованный касательной к боковой поверхности протектора и геометрической осью вращения колеса будет меньше либо равен углу трения между указанными материалами (рис.2.15) (Приложение К).

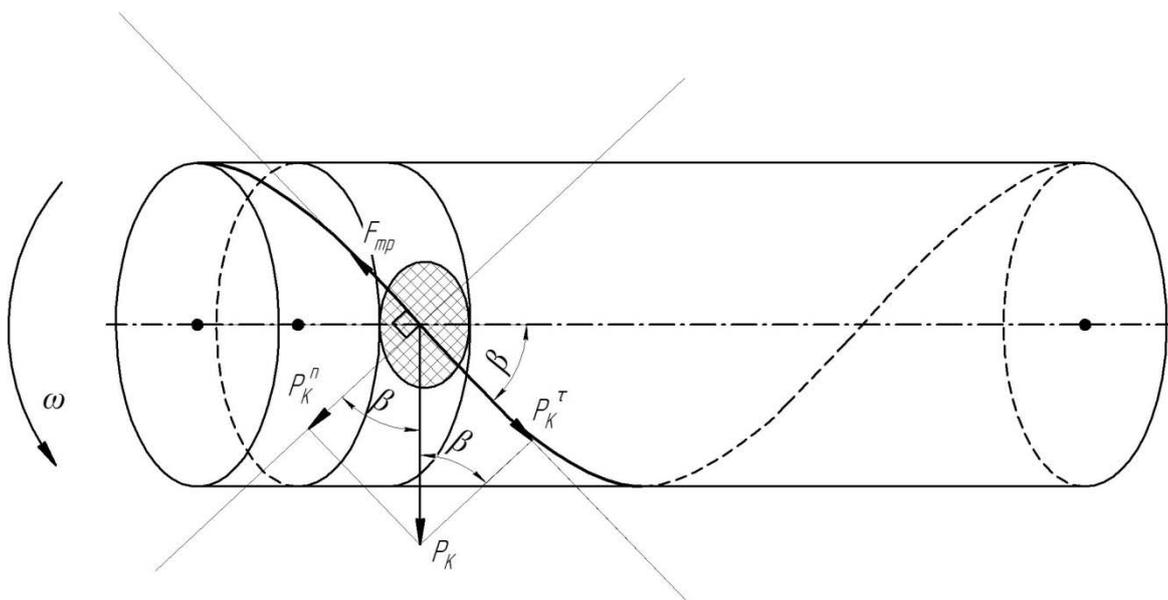


Рисунок 2.15 – Динамическая модель взаимодействия частицы почвы с профилем почвозацепа

Движение материала почвы по материалу грунтозацепа может осуществляться только при условии преодоления касательной реакции силы тяги силы трения, т.е. должно выполняться условие:

$$P_{K\tau} \geq F_{mp}, \quad (2.71)$$

После преобразований по классической методике, область возможных значений угла наклона протектора определится:

$$\beta \geq \arctg \mu$$

где μ - угол трения между материалом протектора и материалом опорного основания

2.3.3 Методика определения скорости стабилизации колеса в режиме движения поперек склона

Сначала необходимо определить скорость смещения колеса вверх по склону без учета поперечного проскальзывания, т.е. скорость поперечного смещения точки грунтозацепа в процессе вращения колеса, для чего воспользуемся (рис. 2.16). Рассмотрим движение точки грунтозацепа в системе координат ХОУ, причем геометрическая ось вращения колеса (а-а) принадлежит указанной плоскости.

Тангенс угла наклона винтовой поверхности в соответствии с (рис. 2.15) определится выражением (2.50):

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \beta, \quad (2.50)$$

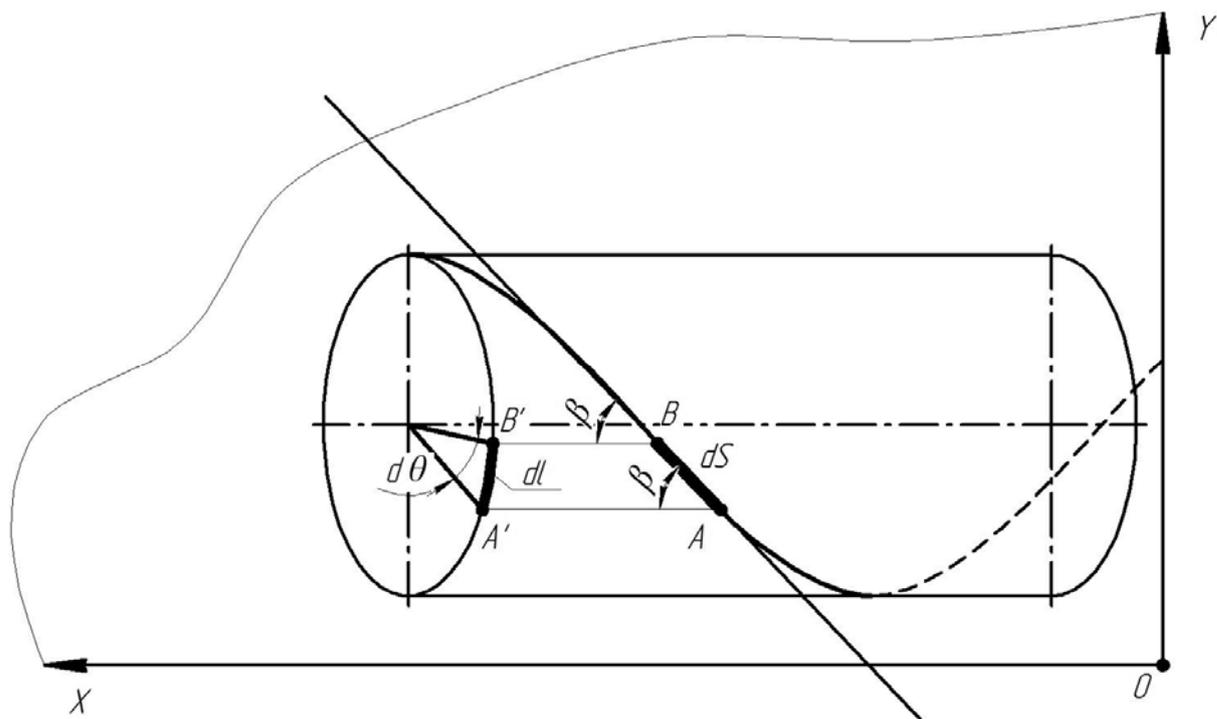


Рисунок 2.16 - Кинематический анализ перемещения частицы грунта по винтовой поверхности:

dl - элементарная дуга поворота, м; dS - элементарный участок траектории движения частицы вдоль винтовой поверхности, м; $d\theta$ - элементарный угол поворота колеса, град; β - угол подъема, рад, r - радиус колеса, м.

а элементарный участок траектории движения частицы вдоль винтовой поверхности определится выражением (2.51):

$$dS = \frac{dx}{\cos \beta}, \quad (2.51)$$

В связи с тем, что движение частицы рассматриваем в узком интервале, ограниченном геометрическими параметрами пятна контакта, то примем, что $dl = dy$, откуда:

$$dx = \frac{dl}{\operatorname{tg} \beta}, \quad (2.52)$$

В связи с тем, что

$$dl = d\theta \cdot r, \quad (2.53)$$

выражение (2.52) представится в виде:

$$dx = \frac{d\varphi \cdot r}{\operatorname{tg} \beta}, \quad (2.54)$$

Умножив левую часть уравнения на $\frac{dt}{dt}$ получим уравнение:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d\varphi \cdot r}{\operatorname{tg} \beta \cdot dt}; \quad (2.55)$$

после математических преобразований которого уравнение скорости бокового смещения грунта в пятне контакта без учета проскальзывания приобретет вид:

$$V_{m.нр.} = \frac{r_K \cdot \omega_K \cdot (1 - \delta)}{\operatorname{tg} \beta} \quad (2.56)$$

где ω_K - угловая скорость колеса, с^{-1} .

Для определения скорости стабилизации колеса V_{cm} , т.е. скорости перемещения его вверх по склону, в выражение (2.56) необходимо ввести поправку на поперечное проскальзывание.

2.4 Теоретическое обоснование конструктивно-функциональных параметров корректирующего режима взаимодействия колесного движителя с несущей поверхностью

В связи с тем, что профиль предлагаемого грунтозацепа протектора выполнен по винтовой поверхности, процесс бокового смятия и среза почвенного кирпича по своей физической сущности сопоставим с процессом реализации касательной силы тяги другого - мнимого колеса (рис 2.17), качение которого происходит в поперечном направлении относительно направления движения реального колеса. Это позволяет нам в качестве формализации бокового проскальзывания использовать известную методику [141] для определения буксования, предложенную профессором Н. Н. Трепененковым, преобразованную нами с учетом специфики настоящих диссертационных исследований.

$$\delta = \frac{C \cdot \phi_{см}}{1 - d \cdot \phi_{см}^3}, \quad (2.57)$$

где C и d - постоянные коэффициенты определяемые эмпирическим путем для каждого типа шин [141];

$\phi_{см}$ - текущее значение коэффициента использования сцепной массы.

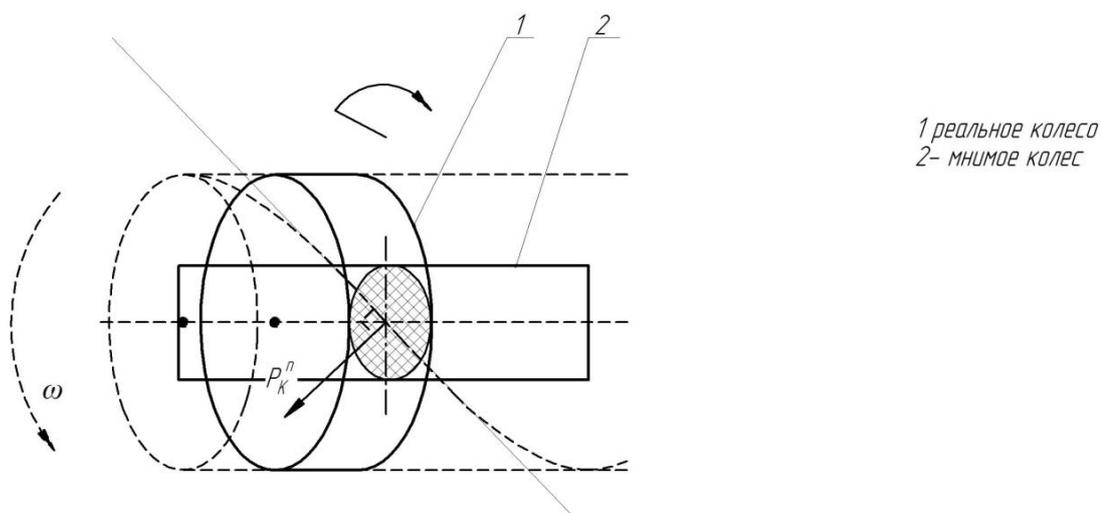


Рисунок 2.17 - Расположение мнимого колеса относительно реального

$$\phi_{см} = \frac{P_{\kappa}}{G_{mp}}; \quad (2.58)$$

Буксование для мнимого колеса будет иметь вид:

для переднего и заднего колес соответственно нижнего борта по склону т.е.

$$\delta_{\bar{o}}^{A'} = \frac{C \cdot \left(\frac{P_{\kappa \bar{o}}^{A'} + P_Z^{A'}}{G_{mp}^{A'}} \right)}{1 - d \cdot \left(\frac{P_{\kappa \bar{o}}^{A'} + P_Z^{A'}}{G_{mp}^{A'}} \right)^3} \quad (2.59)$$

$$\delta_{\bar{o}}^{B'} = \frac{C \cdot \left(\frac{P_{\kappa \bar{o}}^{B'} + P_Z^{B'}}{G_{mp}^{B'}} \right)}{1 - d \cdot \left(\frac{P_{\kappa \bar{o}}^{B'} + P_Z^{B'}}{G_{mp}^{B'}} \right)^3} \quad (2.60)$$

для переднего и заднего колес соответственно нижнего борта по склону т.е.

$$\delta_{\bar{o}}^{A''} = \frac{C \cdot \left(\frac{P_{\kappa \bar{o}}^{A''} + P_Z^{A''}}{G_{mp}^{A''}} \right)}{1 - d \cdot \left(\frac{P_{\kappa \bar{o}}^{A''} + P_Z^{A''}}{G_{mp}^{A''}} \right)^3} \quad (2.61)$$

$$\delta_{\bar{o}}^{B''} = \frac{C \cdot \left(\frac{P_{\kappa \bar{o}}^{B''} + P_Z^{B''}}{G_{mp}^{B''}} \right)}{1 - d \cdot \left(\frac{P_{\kappa \bar{o}}^{B''} + P_Z^{B''}}{G_{mp}^{B''}} \right)^3} \quad (2.62)$$

Графическая интерпретация бокового проскальзывания колес в процессе стабилизации $\delta_{\bar{o}}$ будет выглядеть следующим образом (рис. 2.18)

(Приложение 3)

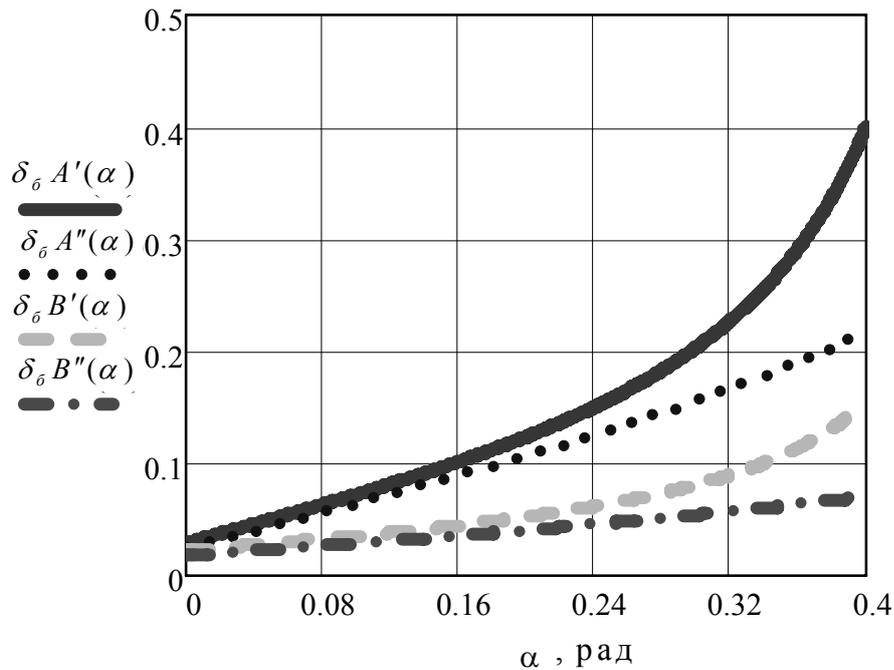


Рисунок 2.18 - Боковое буксование δ_6 на каждом колесе в зависимости от угла наклона опорной поверхности α .

2.5 Коэффициент стабилизации как показатель значимости процесса компенсации увода

В связи с разнонаправленностью рисунков протектора на нижних и верхних колесах бортов трактора для определения суммарной мощности сползания необходимо прибавить мощность, обусловленную работой протектора верхних по склону колес, физическая сущность которой и ее формализация будут аналогичны мощности стабилизации, создаваемой протектором нижних по склону колес.

Эффективность стабилизации зависит от компенсации факторов увода. В нашей работе рассматривается возможность компенсации мощности сползания стабилизирующей мощностью за счет работы протектора. Для оценки степени стабилизации необходимо сравнить величину стабилизирующего фактора с величиной дестабилизирующего.

С учетом распределения нагрузок по бортам $Y^{A'}$, $Y^{B'}$, $Y^{A''}$, $Y^{B''}$ Подставив выражение (2.56) и (2.59) в (2.46), мощность стабилизации примет вид:

$$N_{cm}^{A'} = \frac{r_K^{A'} \cdot \omega_K^{A'} \cdot (1 - \delta^{A'})}{tg\beta} \cdot \frac{C \cdot \frac{P_K^{A'} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta + \frac{G_{mp.} \cdot a \cdot tg\alpha}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)}{\frac{G_{mp.} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)}}{1-d \cdot \left[\frac{P_K^{A'} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta + \frac{G_{mp.} \cdot a \cdot tg\alpha}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)}{\frac{G_{mp.} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)} \right]^3} \cdot \left[\ln ch \frac{\delta^{A'} \cdot U^{A'}}{k_\tau} - f_{np} \left[\frac{1}{ch \left(\frac{\delta^{A'} \cdot U^{A'}}{k_\tau} \right)} - 1 \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_2^{A'} \cdot U^{A'}}{t^{A'}} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta \right] \quad (2.63)$$

$$\begin{aligned}
N_{cm}^{B'} &= \frac{r_K^{B'} \cdot \omega_K^{B'} \cdot (1 - \delta^{B'})}{tg\beta} \cdot \frac{C \cdot \left[\frac{P_K^{B'} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta + \frac{G_{mp.} \cdot (L-a) \cdot tg\alpha}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)}{\frac{G_{mp.} \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)} \right]^3}{1-d \cdot \left[\frac{P_K^{B'} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta + \frac{G_{mp.} \cdot (L-a) \cdot tg\alpha}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)}{\frac{G_{mp.} \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)} \right]} \\
&= \left[\frac{f_{cx} \cdot k_\tau \cdot G_K^{B'}}{\delta^{B'} \cdot U^{B'}} \ln ch \frac{\delta^{B'} \cdot U^{B'}}{k_\tau} - f_{np} \left[\frac{1}{ch \left(\frac{\delta^{B'} \cdot U^{B'}}{k_\tau} \right)} - 1 \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_2^{B'} \cdot U^{B'}}{t^{B'}} \right] \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta
\end{aligned}$$

(2.64)

$$N_{cm}^{A''} = \frac{r_K^{A''} \cdot \omega_K^{A''} \cdot (1 - \delta^{A''})}{tg\beta} \cdot \frac{C \cdot \frac{P_K^{A''} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta + \frac{G_{mp.} \cdot a \cdot tg\alpha}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha\right)}{\frac{G_{mp.} \cdot a \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha\right)}{L}}}{1 - d \cdot \left[\frac{P_K^{A''} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta + \frac{G_{mp.} \cdot a \cdot tg\alpha}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha\right)}{\frac{G_{mp.} \cdot a \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha\right)}{L}} \right]^3} \cdot$$

(2.65)

$$\cdot \left[\frac{f_{cx} \cdot k_\tau \cdot G_K^{A''}}{\delta^{A''} \cdot U^{A''}} - f_{np} \right] \left[\frac{\ln ch \frac{\delta^{A''} \cdot U^{A''}}{k_\tau} - 1}{ch \left(\frac{\delta^{A''} \cdot U^{A''}}{k_\tau} \right)} - 1 \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_2^{A''} \cdot U^{A''}}{t^{A''}} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta$$

$$N_{cm}^{B''} = \frac{r_K^{B''} \cdot \omega_K^{B''} \cdot (1 - \delta^{B''})}{tg\beta} \cdot \frac{C \cdot \left[\frac{P_K^{B''} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta + \frac{G_{mp.} \cdot (L-a) \cdot tg\alpha}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)}{\frac{G_{mp.} \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)} \right]^3}{1-d \cdot \left[\frac{P_K^{B''} \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta + \frac{G_{mp.} \cdot (L-a) \cdot tg\alpha}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)}{\frac{G_{mp.} \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos\alpha - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin\alpha \right)} \right]}$$

(2.66)

$$\cdot \left[\frac{f_{ck} \cdot k_\tau \cdot G_K^{B''}}{\delta^{B''} \cdot U^{B''}} - f_{np} \left[\frac{\delta^{B''} \cdot U^{B''}}{k_\tau} \right] \left[\frac{1}{ch \left(\frac{\delta^{B''} \cdot U^{B''}}{k_\tau} \right)} - 1 \right] + 2\tau_{cp} \frac{h_c^{B''} \cdot U^{B''}}{t^{B''}} \right] \cdot \cos\beta \cdot \sin\beta$$

Выдерживание заданного курса оказывается возможным только в том случае, когда стабилизирующий фактор в значимой степени компенсирует дестабилизирующие. Для оценки степени компенсации нами был введен оценочный критерий, по которому можно судить о эффективности компенсации увода при заданных режимно-параметрических характеристиках технической системы (Приложение Л)

Для переднего моста:

$$k^A = \frac{N_{cm}^{A'} - N_{cm}^{A''}}{N_{cm}^{A'} + N_{cm}^{A''} + N_{cm}^{A''}} \quad (2.67)$$

Для заднего моста:

$$k^B = \frac{N_{cm}^{B'} - N_{cm}^{B''}}{N_{cm}^{B'} + N_{cm}^{B''} + N_{cm}^{B''}} \quad (2.68)$$

2.6 Оценка интенсивности износа модернизированного протектора

Специфика работы модернизированного протектора заключается в том, что взаимодействие с опорной поверхностью происходит в режиме повышенного, по сравнению с серийным, трения. В связи с этим возникает необходимость оценки такого параметра надежности, как износ, который тесно связан с экономической эффективностью внедрения модернизированного протектора. С точки зрения изнашивания нас интересует верхний формообразующий слой и боковая рабочая поверхность (винтовая) (рис. 2.19) протектора. В качестве оценочного параметра увеличения истирания верхнего слоя модернизированного протектора по сравнению с серийным удобно использовать отношение соответствующих интенсивностей износа:

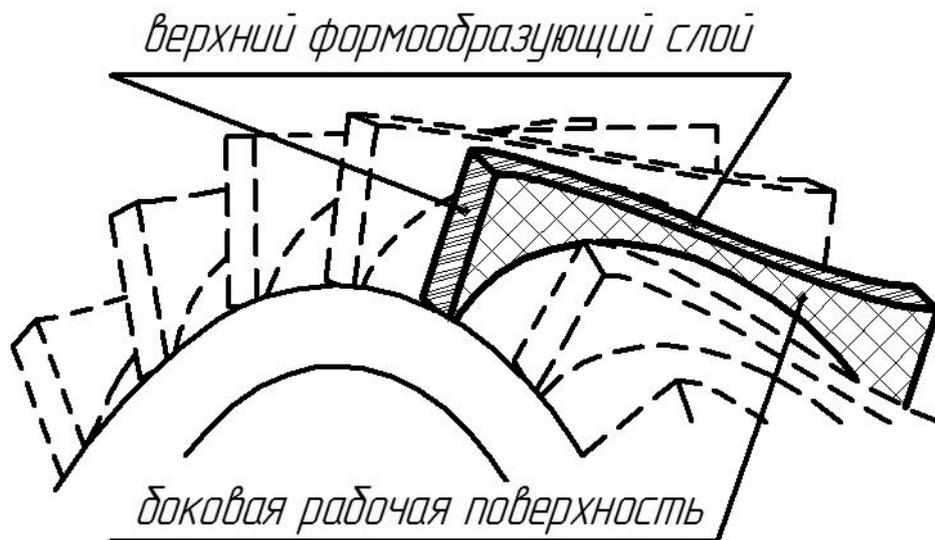


Рисунок 2.19 - Исследуемые поверхности протектора

$$k = \frac{I_m}{I_c}, \quad (2.69)$$

где k - коэффициент интенсивность изнашивания;

I_m - интенсивность изнашивания модернизированного протектора;

I_c - интенсивность изнашивания серийного протектора.

Интенсивность изнашивания протектора определяется по формуле [48]

(Приложение М):

$$I = \frac{K_u \cdot P_{cp} \cdot \mu_{тр} \cdot \delta \cdot L_k}{2 \cdot \pi \cdot (1 - \delta)}, \quad (2.70)$$

где: K_u - коэффициент истирающей способности грунта;

P_{cp} - среднее номинальное давление в контакте, МПа;

$\mu_{тр}$ - коэффициент трения резины о грунт;

δ - коэффициент буксования,

L_k - длина области контакта, м.

Откуда после проведения математических операций коэффициент k определится как:

$$k = \frac{\delta'_m \cdot (1 - \delta''_c)}{\delta''_c \cdot (1 - \delta'_m)}, \quad (2.71)$$

δ'_m , δ''_c - коэффициент буксования модернизированного и серийного двигателей соответственно.

Коэффициенты буксования определяются экспериментально (Приложение О)

Сравнение истирания боковых рабочих поверхностей проведем по той же методике, но исходя из того соображения, что интенсивность изнашивания пропорциональна скорости перемещения почвенных частиц по протектору.

Скорость перемещения почвы по протектору определим как составляющую скорости буксования (рис. 2.20):

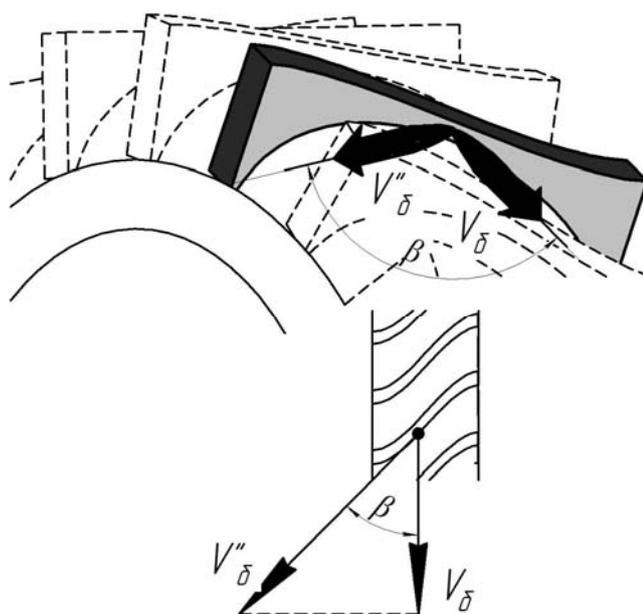


Рисунок 2.20 - Скорость перемещения почвы

$$V_{\delta}'' = V_{\delta} \cdot \cos \beta. \quad (2.72)$$

$$V_{\delta} = V_{\delta} \left(1 - \frac{1}{1 - \delta} \right), \quad (2.73)$$

где V_{δ}'' - касательная составляющая скорости буксования, м/с,

V_{δ} - скорость буксования, м/с,

V_{δ} - действительная скорость, м/с.

Коэффициент буксования заменим на скольжение вдоль протектора, которое определится из (2.72), учитывая, что:

$$V_{\delta} = \delta \cdot V_m, \quad (2.74)$$

где V_m - теоретическая скорость, м/с.

$$V_m = V_{\delta} \left(2 + \frac{1}{1 - \delta} \right). \quad (2.75)$$

Откуда скольжение грунта по боковой поверхности определится

$$\delta = \frac{V_{\delta}''}{V_m \cdot \cos \beta}. \quad (2.76)$$

Учитывая 2.72, 2.73-2.76 подставляя в 2.71 получим:

$$k = \frac{V_{\delta}' + \left(1 - \frac{V_{\delta}''}{V_{\delta}'' \cdot \left(2 + \frac{1}{1 - \delta} \right) \cdot \cos \beta''} \right)}{V_{\delta}'' + \left(1 - \frac{V_{\delta}'}{V_{\delta}' \cdot \left(2 + \frac{1}{1 - \delta'} \right) \cdot \cos \beta'} \right)}. \quad (2.77)$$

Предложенный способ заключается в сравнении опытного и серийного протекторов в аспекте изменения контактной площади и силового воздействия на конфигуративно-геометрические характеристики их рабочих элементов. При формализации предложенной методики особое внимание уделялось фактору трудоемкости в процессе реализации ремонтной технологичности и загруженности средств технического обслуживания на операции замены покрышек колесного движителя. Преимуществом данной методики является отсутствие необходимости использования при экспертировании высокой частоты регистрации изменения конфигуративно-геометрических параметров рабочих элементов протектора и возможность использования локальной процедуры оценки состояния колес посредством коэффициента.

Выводы: Особенностью установленной функции мощности N_{cm} адекватного силового потока учитывающей специфику эксплуатации трактора в различных скоростных режимах на опорной поверхности с углами наклона $\alpha = 0,1 \dots 0,26$ рад и коэффициентом сцепления $\varphi = 0,4 \dots 0,6$ является возможность оперирования конфигуративно-геометрическими параметрами грунтозацепов в рамках исследуемого процесса и создания как оптимальных форм рабочих поверхностей протектора, для взаимодействия в пятне контакта, так и их геометрической ориентации относительно продольной оси колеса. (для исследуемого МТА с транспортным средством МТЗ-82: $t = 130$ мм, $h_2 = 45$ мм, $U = 0,24$ м $G_{тр} = 3900$ кг).

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общие положения экспериментальных исследований

В процессе проведения теоретических исследований нами были получены математические зависимости, устанавливающие связь между конфигуративно-параметрическими характеристиками протектора и реализуемыми им при движении трактора поперек склона с силой тяги на крюке боковыми стабилизирующими реакциями, которые возникают в результате исполнения поверхности грунтозацепа по винтовой направляющей.

В связи с тем, что интенсивность воздействия ведущего колеса на почву функционально зависит от нормальной нагрузки на него, была выдвинута гипотеза о том, что при наличии разности нормальных нагрузок на борта трактора возможно таким образом подобрать параметры грунтозацепов, чтобы разница в реализуемых при этом боковых реакциях оказалась достаточной для компенсации в значимой степени увода. Для обоснования этого были разработаны методики, реализация которых предполагала указанные в них допущения, поэтому необходимо оценить адекватность результатов, полученных в процессе теоретических исследований посредством проведения экспериментальных.

Таким образом, задачей экспериментальных исследований являлось установление зависимости величины поперечных отклонений трактора при движении поперек склона от его крутизны, тяговой нагрузки, скорости движения МТА, конфигурации протектора, состояния опорной поверхности для обеспечения оптимизации формы поверхности грунтозацепов с целью обоснования существования режима движения, при котором возможна минимизация в значимой степени указанных отклонений от заданного курса. Кроме того, необходимо было обосновать, что реализация указанного режима предполагает снижение часового расхода топлива за счет

сокращения количества воздействий со стороны водителя на процесс корректировки траектории движения МТА.

Ориентировочным расчетом установлено, что для осуществления всего комплекса исследований при двух почвенных фонах необходимо провести 100-150 опытов. Указанное число опытов с учетом неизученности исследуемых процессов является небольшим. Это создает предпосылки для проведения многофакторного эксперимента. С целью получения достоверных данных повторность опытов была принята трехкратной.

3.2 Лабораторно-измерительные приборы

Реализация эксперимента предполагала подготовку и монтаж на трактор специального измерительного и регистрирующего оборудования: прибор параллельного вождения AgGPS 252 (рисунок 3.1), контроллер EZ-



Рисунок 3.1– AgGPS 252

Steer с технологией T2 (рисунок 3.2), путеизмерительное («пятое») колесо (рисунок 3.3) , инкрементальные датчики вращения DRS 60 A4K00360 (рисунок 3.4), электрический расходомер топлива ИП-260-2 (рисунок 3.5), тензометрическое звено СТ-10А (рисунок 3.6). Для контроля, регистрации и обработки получаемых параметров использовалась измерительно-информационная система ИП-264 (рисунок 3.7) [81], назначение которой

состоит в реализации автоматического режима контроля и регистрации параметров сельскохозяйственной техники в полевых условиях при испытаниях, а также видеочамера с возможностью съемки в формате HD Sony HDR-PJ320E.



Рисунок 3.2 – контроллер EZ-Steer с технологией T2



Рисунок 3.3 – Путь измерительное колесо



Рисунок 3.4 – Инкрементальный датчик вращения DRS 60 A4K00360



Рисунок 3.5 – Электрический расходомер топлива ИП-260-2



Рисунок 3.6 – Тензометрическое звено СТ-10А

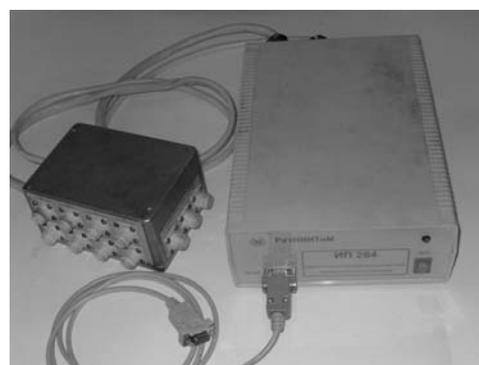


Рисунок 3.7 - Измерительно-информационная система ИП-264

Прибор параллельного вождения AgGPS 252 необходим для получения величин поперечных отклонений трактора от заданного курса. Этот прибор работает по принципу «все в одном» и содержит GPS/DGPS/RTK приемник и антенну с возможностью подключения радиомодема для RTK. Приоритетно нас интересовала технология реализации RTK (Real Time Kinematic), которая позволяет измерять поперечное отклонение от заданного курса с точностью до $\pm 2,5$ см. Необходимость измерений с указанной точностью продиктована спецификой наших исследований. Контроллер EZ-Steer с технологией T2 необходим для коррекции ошибки, вызванной поперечным наклоном трактора. Реализация корректировки возможна за счет наличия в контроллере встроенного датчика, определяющего угол и скорость его изменения.

Пути измерительное колесо предназначено для измерения скорости поступательного движения агрегата, а также фактического пути, пройденного трактором, что необходимо при определении буксования ведущих колес.

Расходомер позволяет фиксировать объем топлива в автоматическом режиме, расходуемый двигателем трактора при подключении его к системе ИП-264.

Тензометрическое звено СТ-10А используется для определения тягового сопротивления прицепных сельскохозяйственных машин в диапазоне усилия 10...100 кН.

При интеграции с программой «Испытания» система ИП-264 используется для получения параметров и расчета основных энергетических характеристик сельскохозяйственных машин по ОСТ 102.2. - 2002 и ГОСТ 30745 - 2001 (ИСО 789-9-90) [59, 60, 133].

До начала проведения экспериментов необходимо готовить в соответствии с инструкциями и технической документации измерительное и регистрирующее оборудование с целью повышения адекватности результатов. Подготовка к работе приборов, предназначенных для измерения

параметров траектории движения (AgGPS 252, контроллера EZ-Steer с технологией T2) заключалась в следующем:

1. Смонтировать держатель. Держатель можно установить под любым наклоном.
2. Установите вакуум-присос на держателе.
3. Подключить электрокабель к курсоуказателю.
4. Установить курсоуказатель в требуемой позиции на лобовом стекле.
5. Укрепите антенну на магнитном основании.
6. Соединить антенный кабель с антенной и провести его в кабину водителя.
7. Установить магнитное основание на центральной оси транспортного средства.
8. Соединить антенный кабель с курсоуказателем.
9. Обеспечить питание приборов от бортовой сети трактора.
10. Провести настройку курсоуказателя в соответствии с прилагаемой инструкцией [169]

Чтобы снизить помехи сигнала GPS, зачетный участок выбирался так, чтобы антенна GPS находилась на расстоянии не менее 1 м от любой другой антенны (включая антенны рации) и на расстоянии не менее 100 м от высоковольтной линии электропередач, башни мобильной связи.

Следующим шагом подготовки и монтажа оборудования была установка системы ИП 264 с распределительным коробом РК1 через который подключали первичные преобразователи используя разъем «дискретные каналы» посредством специальных шлейфов. Распределительный короб подключался к электронному блоку. Система запитывалась от источника тока напряжением 12 В (в нашем случае аккумуляторная батарея 6 СТ).

Запустив программу «Испытания» на портативном компьютере, необходимо было осуществить прогрев системы, обеспечив работу оборудования на холостом режиме. До начала опытов и непосредственно перед каждым опытом проводили компенсацию нуля тензометрических

каналов (т.е. так называемую балансировку). Для обеспечения необходимой точности измерения тягового усилия трактора проводилась перед каждым опытом калибровка тензозвена. Согласно инструкции, чтобы произвести калибровку тензометрического звена СТ-10А, необходимо было выполнить следующие действия [133]:

- установить режим «калибровка каналов» в главном меню программы;
- выбрать номер опрашиваемого аналогового канала и время его опроса;

-последовательно нагружая и разгружая преобразователь усилия разрывной машиной УМ 5 снять калибровочную характеристику тензодатчика.

-рассчитать номинальный статистический коэффициент функции преобразования;

-занести значение калибровочного коэффициента в конфигурацию канала (в программе «Испытания»).

Калибровка датчика путеизмерительного колеса заключается в определении цены одного импульса. Калибровка инкрементальных датчиков вращения ведущих колес заключается в определении коэффициентов, с целью установления величины буксования по результатам проведения соответствующих экспериментов, которая осуществляется непосредственно перед началом каждого опыта. Для калибровки необходимо [133]:

- в меню программы выбрать вкладку «Дискретные датчики»;
- осуществить движение машины на постоянной скорости без нагрузки по твердому ровному горизонтальному основанию с трехкратной повторностью;

- определить коэффициент датчика пути ведущих колес согласно методике, изложенной в технической документации [170], занести значения калибровочных коэффициентов в конфигурацию канала в программе «Испытания».

Для определения углов, скорости, длительности и количества подруливающих воздействий мы использовали видеокамеру с возможностью съемки в формате HD Sony HDR-PJ320E. Обработка отснятого материала производилась в программном продукте Pinnacle Studio v.14.

3.3 Выбор объекта исследований

В качестве модели для проведения экспериментальных исследований был выбран трактор МТЗ-82 в связи с высоким спросом на эту марку, а также высокой долей от общего числа тракторов в парках машинно-технологического оборудования хозяйств различной формы собственности. Также на выбор повлиял факт наличия некоторых данных по модели [41, 47,50, 51, 70, 74, 77, 80, 83, 86, 87, 92, 106, 108, 118, 119, 120, 125, 126, 128, 143] что позволило снизить трудоемкость проведения экспериментов, а также сделать их более адекватными. Многочисленные исследования, проводимые в настоящее время на базе МТЗ-82, позволяют сделать вывод о том, что в его конструкцию заложен потенциал эффективности, вопрос реализации которого остается открытым.

3.4 Технология проведения эмпирических исследований в производственных условиях

Исследования в производственных условиях проводились на базе КФХ «Кипрей» д. Карайгер, Кувандыкского района, ООО «Им. 11 Кавдивизии» с. Нижняя Павловка, Оренбургского района, СПК «колхоз» им. Ю.А. Гагарина Оренбургского района Оренбургской области (Приложения А, Б, В). С учетом того, что трактор является, в первую очередь, тягово-энергетическим средством, а также, принимая во внимание тот факт, что адекватная работа протектора возможна только при наличии крюкового сопротивления, то это стало предпосылкой к проведению экспериментов в режиме движения силы

тяги на крюке. Эксплуатационная масса трактора соответствовала указанной в технических характеристиках завода-изготовителя. Выбор машины осуществлялся исходя из условия, что ее наработка составляет не менее 150 мото-часов. Исследования проводились при температуре окружающего воздуха $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности почвы 15-20%. Зачетная делянка составляла 30-40 м, т.к. движение трактора после прохождения 6-10 м пути можно было считать по результатам предварительной оценки полученных осциллограмм крюкового усилия установившимся [51]. При испытании механизмы и оборудование, не передающие мощность двигателям и не обеспечивающие работу двигателя, отключались. Обзор работ [51, 119], направленных на повышение эффективности эксплуатации колесных тракторов, в которых исследования проводились на базе МТЗ-82, обусловили целесообразность проведения испытаний на третьей передаче.

Крюковое сопротивление было реализовано путем агрегатирования с испытуемым трактором культиватора КПС-4 (рисунок 3.8) и варьировалось в пределах от 0 до 14 кН (соответственно тяговому классу трактора) путем изменения степени заглубления рабочих органов культиватора из кабины трактора за счет его гидросистемы.

Контроль за величиной среднего тягового сопротивления проводился в режиме реального времени на портативном компьютере, за счет передачи сигнала от тензозвена в информационную систему ИП-264.

Испытания проводились на двух почвенных фонах:

- стерня колосовых;
- почва подготовленная под посев.

Структурный состав почвы – суглинок.

Выбранные для испытания опорные поверхности имели интервалы углов наклона 5- 7, 7-10, 10-12, 12-14⁰ с колебаниями уклона в продольном и поперечном направлении $\pm 2^{\circ}$ на длине пути 20м. С целью контроля стабильности почвенных условий перед каждой серией опытов

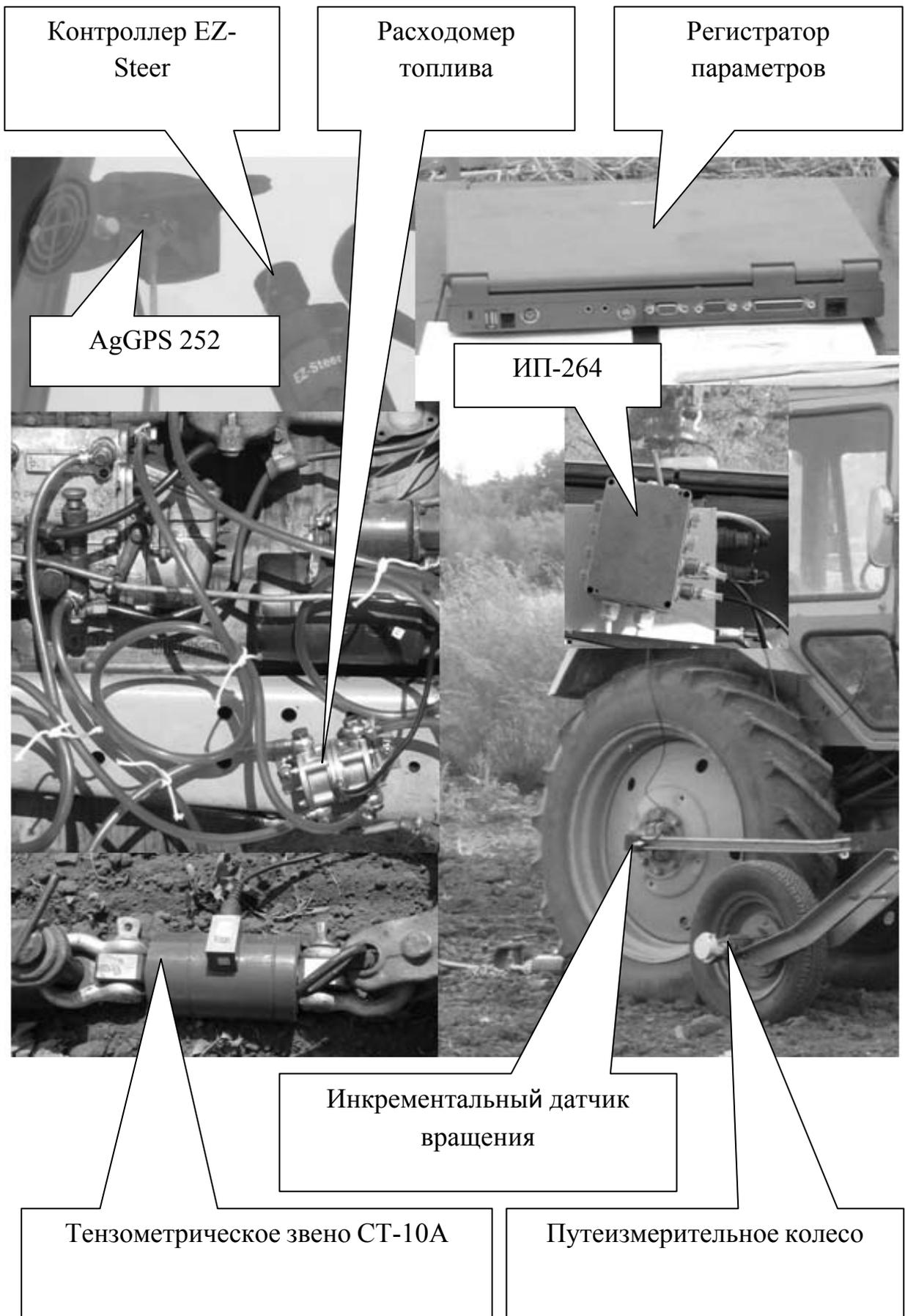


Рисунок 3.8 – Испытуемый трактор с культиватором КПС-4

осуществлялся замер твердости и влажности опорного основания. Твердость составляла:

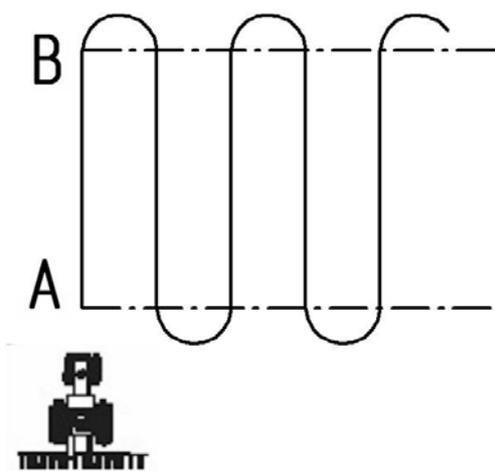
- стерни колосовых 3,0 – 3,5 МПа,
- почвы подготовленной под посев 0,5 – 0,8 МПа.

Влажность на глубине 0,1 м находилась в пределах 18-22%.

Порядок проведения исследований.

В процессе проведения экспериментов необходимо было сравнить помимо степени соответствия заданному курсу реальной траектории движения трактора с серийным протектором и трактора с колесами, оборудованными предложенным нами следующие параметры: средний угол поворота рулевого колеса, длительность воздействий на рулевое колесо, количество подруливающих воздействий и скорость вращения, расход топлива. Для обоих случаев проводились идентичные серии экспериментов.

На зачетном участке выбиралось направление движения вдоль которого осуществлялся первый (контрольный) проход, который являлся ориентиром, т.е. эталонной траекторией движения, по которой должно было быть реализовано движение центра масс трактора.



1. Чтобы указать стартовую точку (пункт А) направляющей линии, нажимали: «ОК» в меню AgGPS 252 программы обеспечивающей взаимодействие пользователя с контроллером EZ-Steer. 2. Проехать длину зачетной делянки и указать конечную точку (пункт В) направляющей линии: «ОК» 3. Управляли транспортным средством так, чтобы зеленые индикаторы LED находились в центре во время проезда вдоль колеи.

Видеокамера закреплялась на штативе, смонтированном на внутренней поверхности крыши кабины трактора за счет оригинальных кронштейнов, таким образом, чтобы плоскость объектива камеры и плоскость рулевого

колеса оказались параллельными друг другу, с целью минимизации погрешностей. Параллельность обеспечивалась путем прикладывания к рулевому колесу и объективу камеры жестких поверхностей и измерением расстояния между ними в различных точка (5 точка) лазерным дальномером. На приборной панели и ободу рулевого колеса были нанесены метки, являющиеся нулевым уровнем при определении углов поворота рулевого колеса. Перед нанесением меток была проведена корректировка углов развала и схождения колес переднего моста трактора.

Для обеспечения возможности определения углов, скорости, длительности и количества подруливающих воздействий отснятый материал с видеокамеры разбивался на кадры со шкалой времени (рисунок 3.9) (Приложение Н)

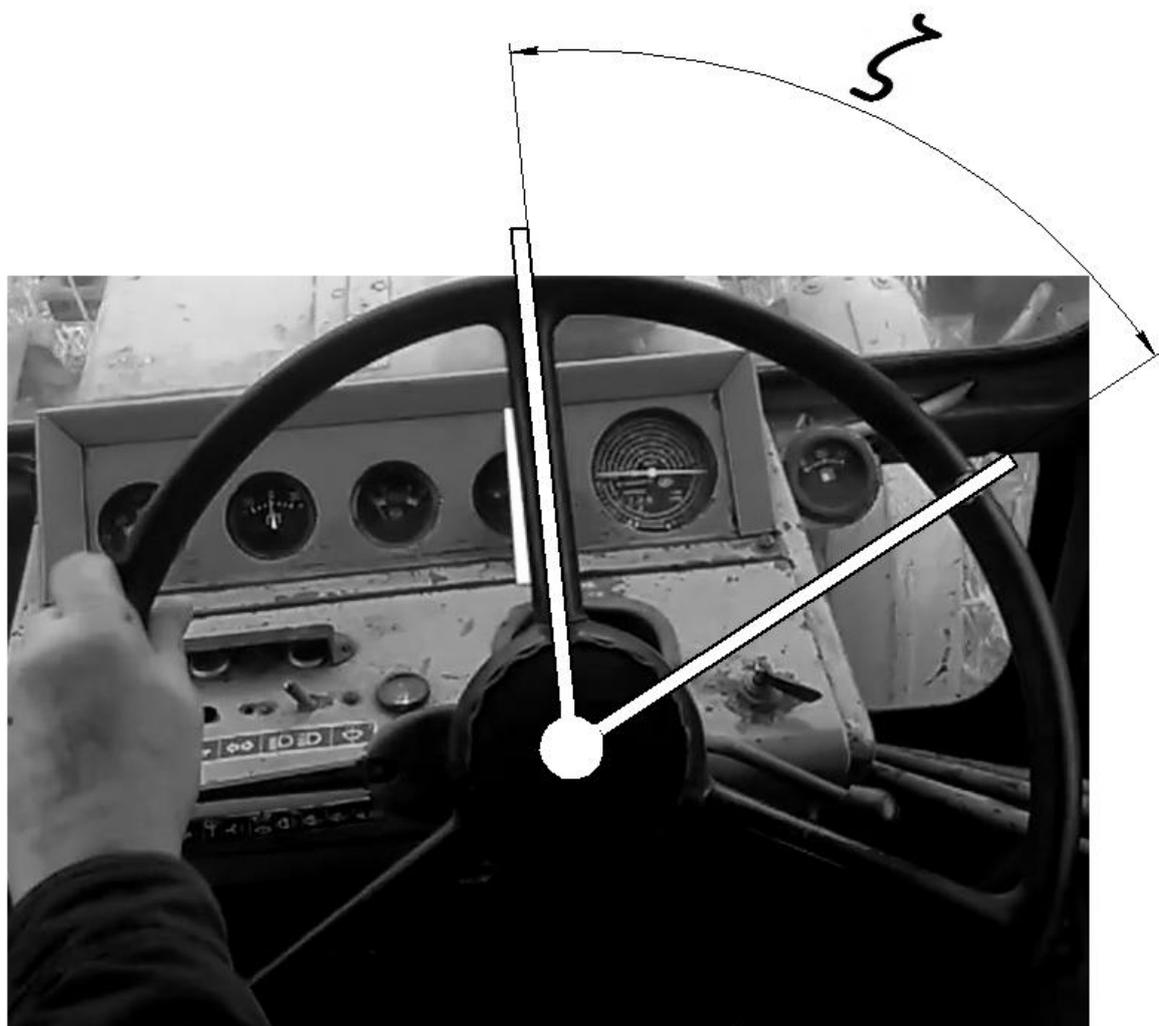


Рисунок 3.9 – покадровая развертка в Pinnacle Studio v.14

3.5 Технология обработки экспериментальных данных

3.5.1 Общие положения обработки экспериментальных данных

Как известно, любой процесс может быть охарактеризован некоторой зависимостью выхода процесса (y) от факторов ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) [117, 142].

Поэтому исследуемые параметры можно представить в виде функций нескольких переменных вида:

$$y = g \cdot (x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (3.1)$$

Это уравнение описывает некоторую гиперповерхность в многомерном пространстве (факторное пространство), и, следовательно, изучение многофакторного процесса можно представить как исследование формы этой поверхности, называемой поверхностью отклика.

Поскольку истинный вид функции $y = g \cdot (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ неизвестен, для описания поверхности отклика используют уравнение, представляющее собой разложение этой функции в степенной ряд (уравнением регрессии) [117, 142]:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i + \sum_{i,j=1}^n \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i,j=1}^n \beta_{ijj} \cdot x_i^2 \cdot x_j + \sum_{i=1}^n \beta_{iii} \cdot x_i^3 + \dots, \quad (3.2)$$

где x_i, x_j, \dots - переменные (факторы);

β_i, β_{ij} - коэффициенты регрессии при соответствующих переменных, значения которых определяют форму поверхности отклика в изучаемой области.

В уравнении регрессии члены второй степени – произведения $x_i \cdot x_j$ и квадратичные члены x_i^2, x_j^2 характеризуют кривизну поверхности. В наивысшей точке поверхности отклика, где кривизна возрастает, для точного описания процесса нужны члены третьей степени, такие, как $x_i^2 \cdot x_j$ и x_i^3 .

Чем больше кривизна поверхности, тем больше в уравнении регрессии членов высшей степени, а следовательно, и коэффициентов регрессии, которые необходимо определить. Это приводит к резкому увеличению числа опытов, которые надо поставить для нахождения неизвестных коэффициентов регрессии. Поэтому в практике стремятся ограничиться линейной моделью, проводя эксперименты в достаточно узкой области поверхности отклика, чтобы изучаемый участок можно было представить плоскостью. При этом уравнение регрессии будет иметь вид [117, 142]:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n \quad (3.3)$$

поскольку плоскость представляет собой поверхность первого порядка, и все коэффициенты при переменных степени выше первой обращаются в нуль.

Если надо расширить область исследования процесса (когда нельзя ограничиться линейным приближением), то необходимо учитывать члены второй степени [117, 142]:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} \cdot x_i^2 \quad (3.4)$$

В частном случае зависимости функции (y) от трех переменных x_1, x_2, x_3 разложение ее в степенной ряд будет иметь вид [117, 142]:

$$y = g(x_1, x_2, x_3) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_{11} \cdot x_1^2 + \beta_{22} \cdot x_2^2 + \beta_{33} \cdot x_3^2 + \beta_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + \dots \quad (3.5)$$

Для линейного участка рассматриваемой поверхности отклика [117, 142]

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3, \quad (3.6)$$

а при необходимости описания более широкой области добавляют члены второй степени [117, 142]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_{11} \cdot x_1^2 + \beta_{22} \cdot x_2^2 + \beta_{33} \cdot x_3^2. \quad (3.7)$$

3.5.2 Организация многофакторного эксперимента

В основе планирования факторного эксперимента 2^n лежит реализация всех возможных комбинаций n исследуемых факторов, каждый из которых рассматривается на двух уровнях. Легко видеть, что для того, чтобы исчерпать все возможные комбинации для n факторов на двух уровнях, следует поставить 2^n вариантов. В этом случае потребуется: для двух факторов – 4 (т.е. 2^2), для трех факторов – 8 (т.е. 2^3), для четырех факторов – 16 (т.е. 2^4) вариантов и т.д. (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – План многофакторного эксперимента

Фактор	Скорость движения, м/с	Крюковое усилие, Н	Угол наклона опорной поверхности, рад.	Угол установки грунтозацепа, рад.
	V	$P_{кр}$	α	β
Переменные	X1	X2	X3	X4
Основной уровень	3	11750	0,175	0,611
Верхний уровень	3,5	14000	0,245	0,785
Интервал варьирования	0,5	2250	0,070	0,174
Нижний уровень	2,5	9500	0,105	0,436

При изучении процесса стабилизации траектории движения колесного трактора от заданного курса за счет работы предлагаемого протектора на наклонных участках опорной поверхности в качестве (y) рассматривали величину поперечного отклонения от заданного курса, буксование, расход топлива, количество подруливающих воздействий, угол и угловую скорость поворота рулевого колеса, затрачиваемых на процесс корректировки траектории движения. В качестве факторов (x_i), ($i=1, 2, \dots, n$) мы брали: угол наклона опорной поверхности, угол установки грунтозацепа протектора, шаг грунтозацепов, буксование, касательная сила тяги, почвенный фон (Приложение О).

Основным типом погрешностей, допускаемых при измерении указанных параметров, является случайная погрешность. Она проявляется при действии на трактор возмущающих факторов со стороны опорной поверхности, таких как кочки, выступы, попадающие под движитель камни, меняющийся угол наклона опорной поверхности, неуравновешенность вращающихся масс машины и т.п. Этот вид погрешности поддается строгому математическому описанию, что позволяет делать выводы о качестве измерений, в которых они присутствуют [117, 142]. Также величины погрешностей при проведении исследований могут определяться погрешностями измерений, тарировки, а также обработки экспериментальных данных. Поэтому с целью повышения точности были соблюдены все требования, изложенные в технической документации к используемому контрольно-измерительному и регистрирующему оборудованию.

Среднее значение измеряемой величины (или выборочное среднее) \bar{X} указывает центр распределения, около которого группируются результаты отдельных измерений [117, 142]:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3.8)$$

где n – количество опытов;

X_i – текущее значение измеряемой величины;

Дисперсию вводят как средний квадрат отклонения отдельных результатов от среднего значения случайной величины [117, 142]:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, \quad (3.9)$$

Коэффициент $n-1$ появляется, поскольку в связи с конечным количеством экспериментов вычисленное среднее значение \bar{X} отличается от предельного (получаемого при $n \rightarrow \infty$), и такая поправка дает возможность получить несмещенную оценку для дисперсии.

Среднее квадратичное отклонение, или ошибку эксперимента, определяют как квадратный корень из дисперсии [117, 142]:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3.10)$$

Эта величина характеризует разброс результатов отдельных измерений вокруг среднего значения, получаемого после обработки всех данных многократного измерения. Точные значения σ и являются предельными величинами, так как могут быть получены при условии, когда полное количество проведенных измерений достаточно велико, в пределе при $n \rightarrow \infty$. При конечных n , что имеет место быть в нашем случае, правильнее использовать термин *экспериментальная оценка*, который в равной мере относится и к среднему значению, и к дисперсии.

Среднеквадратичная ошибка среднего вычисляется по формуле [117, 142]:

$$S_X = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (3.11)$$

Коэффициент вариации [117, 142]:

$$W = \frac{\sigma_x}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad (3.12)$$

Относительная ошибка среднего арифметического [117, 142]:

$$\varepsilon_{\bar{X}} = \frac{W}{\sqrt{\sum n_i}} \cdot 100\% \quad (3.13)$$

n_i - частота попадания измеряемой величины в интервал измерения.

Средняя квадратичная погрешность результата измерений [117, 142]:

$$S_{II} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{\sum n_i}} \cdot 100\% \quad (3.14)$$

Задавшись требуемым уровнем доверительной вероятности (95%), определив коэффициент Стьюдента $t(P, \nu)$, вычислить модуль доверительного интервала можно по формуле [117, 142]:

$$\Delta X = S_x \cdot t(P, n-1), \quad (3.15)$$

где $t(P, n-1)$ - коэффициент (критерий) Стьюдента.

С учетом приведенных выше выражений при доверительной вероятности P наиболее вероятное значение измеряемой величины определится формулой вида [117, 142]:

$$X = \bar{X} + \Delta X \quad (3.16)$$

Относительная погрешность результата измерений [117, 142]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X} \quad (3.17)$$

Обработка опытных данных указанным способом позволила определить достоверность и адекватность проведенных теоретических исследований опытным данным. Результаты многофакторного регрессионного анализа сведены в таблицы для различных условий движения МТА (Приложение П).

3.5.3 Математические модели выходов процессов

Современные компьютерные технологии позволяют реализовать процесс обработки экспериментальных данных в автоматическом режиме и обеспечивают сокращение затрат времени их обработки и исключают влияние человеческого фактора на погрешность получаемых результатов, для чего мы воспользовались такими программными пакетами как Microsoft Excel 2010, Surfer 11, STATISTICA 10.

Таким образом, в результате регрессионного анализа, проведенного в автоматическом режиме в среде указанных программ, были получены уравнения регрессии и соответствующие им поверхности отклика для различных условий движения МТА (Приложение Р).

$$\begin{aligned} Y_{d_ster} = & 48,087 - 0,859 \cdot X_2 - 1,083 \cdot X_3 - 1,663 \cdot X_4 + 0,638 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ & - 0,274 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,222 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,687 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,553 \cdot X_2 \cdot X_4 - \\ & - 0,461 \cdot X_3 \cdot X_4 + 1,027 \cdot X_2^2 + 1,6 \cdot X_3^2 + 1,837 \cdot X_4^2, \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} Y_{dKD_ster} = & 2,302 - 2,056 \cdot X_1 - 7,283 \cdot X_2 - 4,543 \cdot X_3 - 1,056 \cdot X_4 + \\ & + 1,953 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,727 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,771 \cdot X_2 \cdot X_4 + \\ & + 0,436 \cdot X_3 \cdot X_4 + 6,015 \cdot X_2^2 + 3,681 \cdot X_3^2, \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned}
Y_{Gt_ster} = & 60,742 - 0,859 \cdot X_2 - 1,083 \cdot X_3 - 1,663 \cdot X_4 + 0,638 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\
& - 0,274 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,223 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,687 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,553 \cdot X_2 \cdot X_4 - \quad (3.20) \\
& - 0,461 \cdot X_3 \cdot X_4 + 1,027 \cdot X_2^2 + 1,60 \cdot X_3^2 + 1,837 \cdot X_4^2,
\end{aligned}$$

Проверка адекватности полученных регрессионных моделей проводилась посредством F-критерия Фишера путем его указания непосредственно в соответствующем диалоговом окне STATISTICA 10.

3.6 Результаты экспериментальных исследований

Разница между величинами отклонения от заданного курса у трактора с серийным протектором и модернизированным полученная в ходе эксперимента не превышает 11-16%. Большие значения отклонения соответствуют большим значениям скорости движения и крюковой нагрузки, т.к. при больших скоростях увеличивается буксование и количество отрывов машины от опорной поверхности вследствие вертикальных колебаний. Вписываемость машины в заданный коридор с модернизированным протектором и выход за его пределы с серийным в различных эксплуатационных условиях подтверждают достоверность теоретических исследований.

На максимальном поперечном склоне, рекомендованном заводом-изготовителем (14 градусов), величина поперечных смещений в коридоре движения с обозначенными защитными зонами у экспериментального трактора меньше на 12-15 % величины увода серийного трактора; интенсивность роста коэффициента буксования с увеличением угла наклона опорной поверхности в пределах от 5 до 16 градусов у экспериментального трактора ниже в среднем на 12-21% в зависимости от коэффициента сцепления несущих грунтов ($\varphi = 0,6 \dots 0,8$).

Проведенными исследованиями установлено, что за счет модернизации конфигуративно-параметрических характеристик протектора возможно

стабилизировать курсовую устойчивость исследуемой машины на склонах от 6 до 15 градусов, т.е. до того предельного значения угла, на котором потенциально согласно документации может работать трактор, однако некоторое смещение на углах 12-16 градусов наблюдается из-за поперечного скольжения вследствие вертикальных колебаний машины и вызванных этим фактом отрывов от опорной поверхности.

Уже на склоне крутизной 5-10 градусов снижается количество управляющих воздействий на органы управления машины с модернизированным протектором по сравнению с базовой моделью, что подтвердилось в результате собеседования с трактористом, управление становится менее утомительным.

Вписываемость в заданный коридор базовой модели на склонах от 5 до 10 градусов обеспечивается постоянным подворотом управляемых колес, что приводит к повышению сопротивления движению. Из-за сокращения количества подруливающих воздействий на 56 %, модернизированный трактор затрачивает топлива на 5-9% меньше в сравнении с серийной моделью.

Коридор движения базовой модели трактора на склоне в 14-15 градусов увеличивается до 0,7 м, т.е. в 2,5 раза в соответствии с агротехническими требованиями. Угол склона 15 градусов является практически предельным для базовой модели, на котором ее возможно эксплуатировать. Поэтому для обеспечения точности технологической траектории держит подвернутыми управляемые колеса в течении всего времени работы, и движется как бы в гору, что дополнительно оказывает сопротивление движению. У трактора с модернизированным протектором, вследствие меньшего подворота колес и меньшего сопротивления движению на угле 14-15 градусов буксование на 8-10 % меньше.

Работа трактора с сельхозмашиной имеет ряд отличий от движения единичного трактора.

Основным параметром, влияющим на курсовую устойчивость трактора при культивации, является прямолинейность борозды. Установлено, что уже на 5-7 градусном склоне величина огрехов и перекрытий снизилась на 12-15%. Это привело к увеличению у модернизированного трактора к увеличению рабочей ширины захвата на 0,03...0,05 м и обусловило рост производительности работы на 4...5%, что, в общем, может укладываться в ошибку. На 7-10 градусном склоне рост производительности более заметный – 6-7%. На 10-12 градусном склоне рост производительности по сравнению с базовой моделью составил 7-9%, а на 12-14 градусном 10-12%.

Как модернизированный вариант, так и серийный при работе с культиватором КПС-4 при работе на склоне в 5-7 градусов находятся в потребном коридоре движения, на склоне 7-10 градусов также трактор с модернизированным протектором и без вписываются в заданный технологический коридор движения, однако отклонения внутри коридора и курсовые углы серийной модели выше на 5-7%. Модернизированный трактор вписывается в заданный коридор до достижения угла склона 14-15%, т.е. в интервале рекомендованных инструкцией по эксплуатации углов склона. Базовая модель на углах 10-12 градусов выходит за пределы защитных зон, но их количество не является критичным. Однако вписываемость обеспечивается длительным и регулярным подворотом колес относительно заданного курса, что обусловило существенное увеличение на 10-12% расхода топлива по сравнению с равнинными условиями. У модернизированного трактора по сравнению с серийной моделью расход топлива снизился на 7-9%. На 12-15 градусном склоне у серийной модели наблюдаются систематические выходы за пределы защитных зон. Расход топлива по сравнению с равнинными условиями увеличивается до 15%. У модернизированного трактора расход топлива снизился на 9-10%.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

На основании полученных уравнений регрессии заданы уровни факторов (угла наклона опорной поверхности 0,1 рад, коэффициент сцепления $\varphi=0,5\dots 0,6$) влияющие на выходы процессов δ , $\Delta KД$, Gt соответствующие специфике агротехнологических условий и ландшафтными особенностям для зоны экспериментального внедрения предложенного технического решения в исследуемой области поверхности отклика.

Установленный интервал отклонений от заданной траектории составил $\Delta KД=0,09\dots 0,13м$, что соответствует расчетным значениям для граничных условий эксплуатации трактора с модернизированным протектором.

В результате производственных испытаний доказана возможность удержания машины на технологической траектории при его эксплуатации на наклонных опорных поверхностях с углами от 6 до 14 при соответствующем ориентировании грунтозацепов относительно продольной оси колеса в пределах от 25 до 45°.

4 **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ** **ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБА КУРСОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ** **КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ** **СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ В УСЛОВИЯХ СКЛОНОВОГО** **ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Неотъемлемым условием внедрения инновационной разработки является ее выгодность для потребителя. Это возможно лишь тогда, когда новая техника или технология обладают преимуществами по сравнению с существующими аналогами. С экономической точки зрения необходимо обеспечить снижение удельных приведенных затрат, что достоверно будет свидетельствовать о росте производительности, экономии горюче-смазочных материалов, а также улучшении других показателей работы МТА, следствием чего станет снижение стоимости производимой продукции [144, 149].

Оценка эффективности предполагаемой к внедрению разработки должна проводиться еще на этапе проектирования [144, 149], т.е. осуществлять еще и прогностическую функцию. С этой целью на основе классических методик мы определили показатели эффективности серийной модели трактора МТЗ-82 и его модернизированного варианта с системой стабилизации курсовой устойчивости, а также провели их сравнительный анализ. Оценка проводилась для различных углов поперечного склона с целью выявления величин наклона опорных поверхностей, на которых наиболее целесообразно использовать разработку.

С целью определения экономических показателей для различных интервалов склонов, прежде всего, необходимо определить балансовую стоимость трактора с системой стабилизации, которая подсчитывается по формуле [144, 149]:

$$B_{\Pi} = B_{\delta} + C_M + C_{\Pi.д.} + C_{з.п.} + C_{о.п.}, \quad (4.1)$$

где B_6 – балансовая стоимость серийной модели МТЗ-82;

C_M – стоимость основных и вспомогательных материалов, используемых для модернизации, руб.;

$C_{п.д.}$ – стоимость покупных деталей и агрегатов, руб.;

$C_{з.п.}$ – заработная плата производственным рабочим, занятым в процессе модернизации машины, руб.;

$C_{о.п.}$ – общепроизводственные накладные расходы, руб.

Стоимость основных материалов определяется формулой [144]:

$$C_M = \sum M_i C_i, \quad (4.2)$$

где M_i – масса израсходованного материала i -го вида;

C_i – цена 1 кг израсходованного материала i -го вида;

Масса материала по видам определяется по выражению [144]:

$$M = A \cdot M_r^n, \quad (4.3)$$

где A и n – постоянные, зависящие от материала детали, способов и методов ее изготовления, наличия механической обработки и т.п. [144, 149].

Зарплата производственных рабочих $C_{з.п.}$ рассчитывается формулой [144]:

$$C_{з.п.} = C_{о.з.п.} + C_{д.з.п.} + C_{соц}, \quad (4.4)$$

где $C_{о.з.п.}$ – основная заработная плата, руб.;

$C_{д.з.п.}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$C_{соц}$ – отчисления на социальные нужды, руб.

Основная заработная плата определяется [144]:

$$C_{о.з.п.} = (T_{из} + T_{сб}) \cdot C_ч, \quad (4.5)$$

где $T_{из}$ – трудоемкость изготовления элементов изделия, чел.-ч;

$T_{сб}$ – трудоемкость сборки, чел.-ч;

$C_ч$ – часовая тарифная ставка рабочих, исчисляемая по среднему разряду.

Трудоемкость сборки конструкции определяется формулой [144]:

$$T_{сб} = K_C \cdot \sum t_{сб}, \quad (4.6)$$

Дополнительную заработную плату при расчетах принимают в размере 10% от основной [144].

Отчисления на социальные нужды определяются по формуле:

$$C_{соц} = K_{от} \cdot (C_{о.з.п.} + C_{д.з.п.}), \quad (4.7)$$

где $K_{от}$ – коэффициент отчислений, равный 0,395.

Общепроизводственные (цеховые) расходы вычисляются по формуле:

$$C_{O.П.} = \frac{R_{O.П.} \cdot C_{O.З.П.}}{100}, \quad (4.8)$$

где $R_{O.П.}$ – процент общепроизводственных расходов, равный 120 % [144, 149].

Средняя часовая производительность МТА определится выражением [144]:

$$W_q = 0,1 \cdot V_d \cdot B_p \cdot K_{TЭ}, \quad (4.9)$$

где V_d – средняя действительная скорость агрегата, км/ч;

B_p – рабочая ширина захвата орудия, м;

$K_{TЭ}$ – коэффициент, характеризующий отклонение технической производительности агрегата от эксплуатационной.

Одним из наиболее значимых показателей эффективности любого механического транспортно средства является расход топлива. С привязкой к трактору определяют часовой расход топлива G_q (по результатам экспериментальных исследований), а также связанный с ним удельный расход топлива [144]:

$$g_{y\partial} = \frac{G_q}{W_q}, \quad (4.10)$$

где G_q – часовой расход топлива, кг/ч.

Удельные капитальные вложения формализуются зависимостью [144]:

$$K_{y\partial} = \frac{B}{W_{\text{ч}} \cdot t_{\phi}}, \quad (4.11)$$

где t_{ϕ} – фактическая годовая загрузка машины, ч.

Следующий шаг – подсчитываются удельные приведенные затраты по сравниваемым вариантам [144]:

$$J = И + \varepsilon_H \cdot K_{\text{уд}}, \quad (4.12)$$

где ε_H – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капиталовложений (0,15) [144].

По результатам расчетов показателей экономической эффективности, а также, используя данные, полученные в экспериментальной части диссертационной работы, в зависимости от углов поперечного склона были получены соответствующие графики (рис. 4.1, 4.2, 4.3)

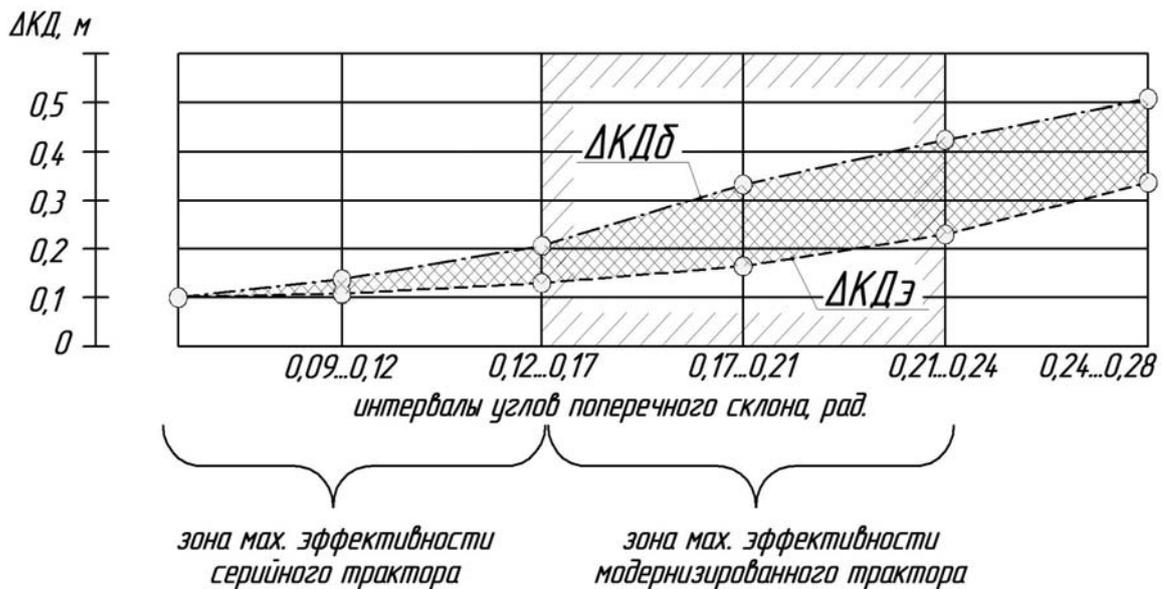


Рисунок 4.1 – Зависимость $\Delta KД$ величины поперечных смещений в коридоре движения от угла склона.

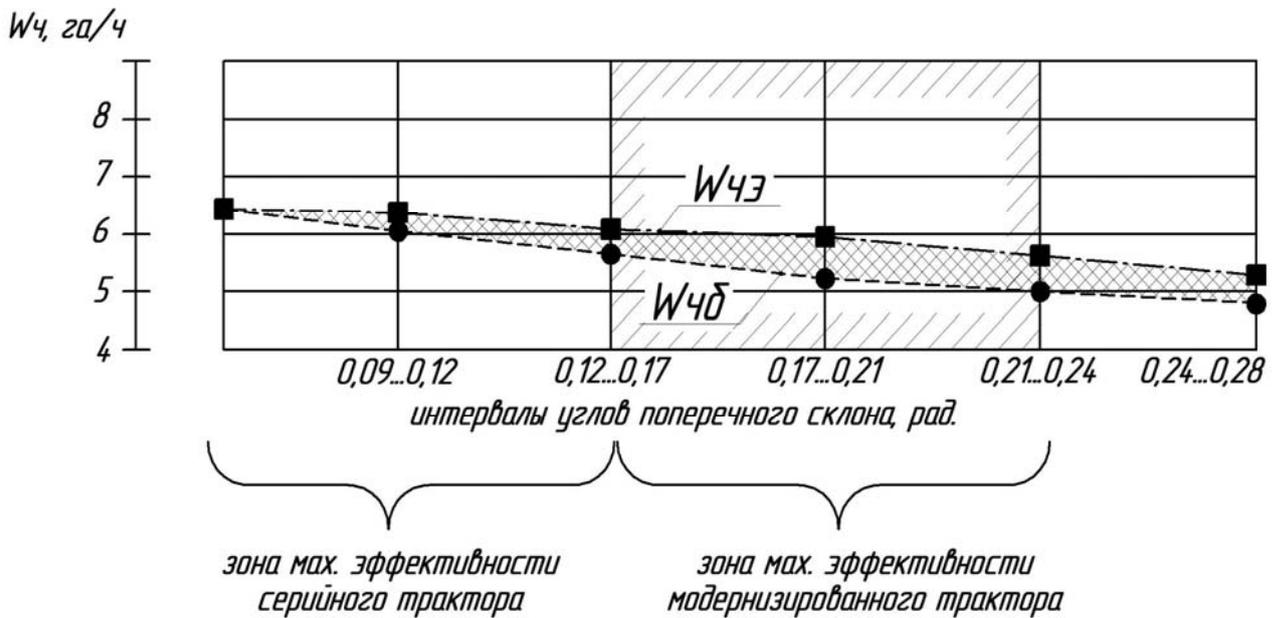


Рисунок 4.2 – Зависимость производительности агрегата от угла склона

Производительности агрегата повышается за счет более точного выдерживания заданной технологической траектории.

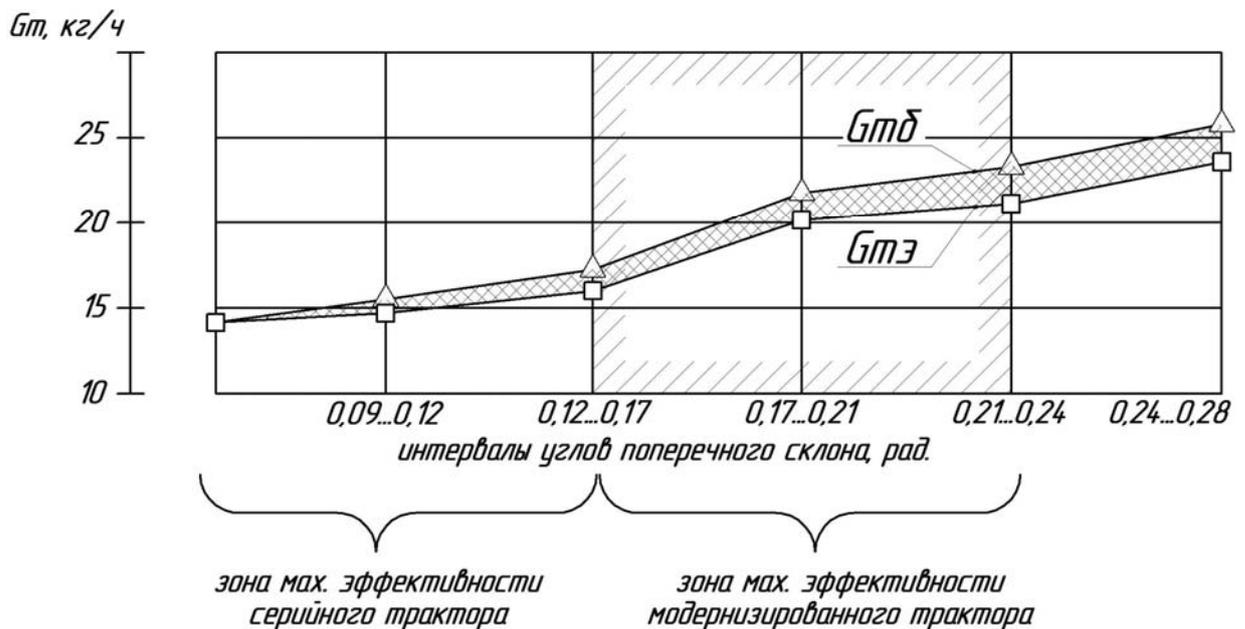


Рисунок 4.3 – Зависимость расхода топлива от угла склона

Снижение расхода топлива происходит за счет сокращения частоты и длительности подруливаний.

За счет применения модернизированного протектора величина поперечных смещений в коридоре движения снижается в зависимости от угла наклона опорной поверхности относительно серийной модели.

Если удельные приведенные затраты модернизированного трактора (J_3) ниже, чем у серийной модели (J_6), то можно сделать предварительный вывод о целесообразности внедрения системы стабилизации. Однако для большей достоверности необходимо рассчитать границы эффективности для каждого из тракторов. По мнению ряда авторов [144, 149], с практической точки зрения целесообразно границу эффективности выражать не в абсолютных, а относительных величинах, т.е. как отношение производительности модернизированного (экспериментального) трактора к производительности серийного. Располагая данными по относительным показателям, всегда при необходимости можно перейти на абсолютные величины.

Определение коэффициента потенциального резерва эффективности модернизации рассчитывался по следующей методике:

Граница эффективности модернизации подсчитывается по формуле [144] (рис. 4.5):

$$\Gamma_{\varepsilon} = \frac{J_{\Pi} \cdot W_{\text{чп}}}{J_{\delta} \cdot W_{\text{чб}}}, \quad (4.13)$$

где J_{Π} , J_{δ} – удельные приведенные затраты проектируемого и базового вариантов соответственно;

$W_{\text{чп}}$, $W_{\text{чб}}$ – часовая производительность проектируемого и базового вариантов соответственно.

Теперь, используя значения Γ_{ε} , целесообразно определить границу эффективности по часовой производительности Γ_w [144]:

$$\Gamma_w = W_q \cdot \Gamma_{\varepsilon} \quad (4.14)$$

Этот показатель нами определялся для различных по величине склонов (рис. 4.4). Его удобно использовать при экономическом анализе, т.к. все значения $Wч > \Gamma_w$ относятся к экономически эффективному использованию техники и наоборот. Подсчет границы эффективности позволяет делать предварительный прогноз о степени эффективности модернизированной разработки.

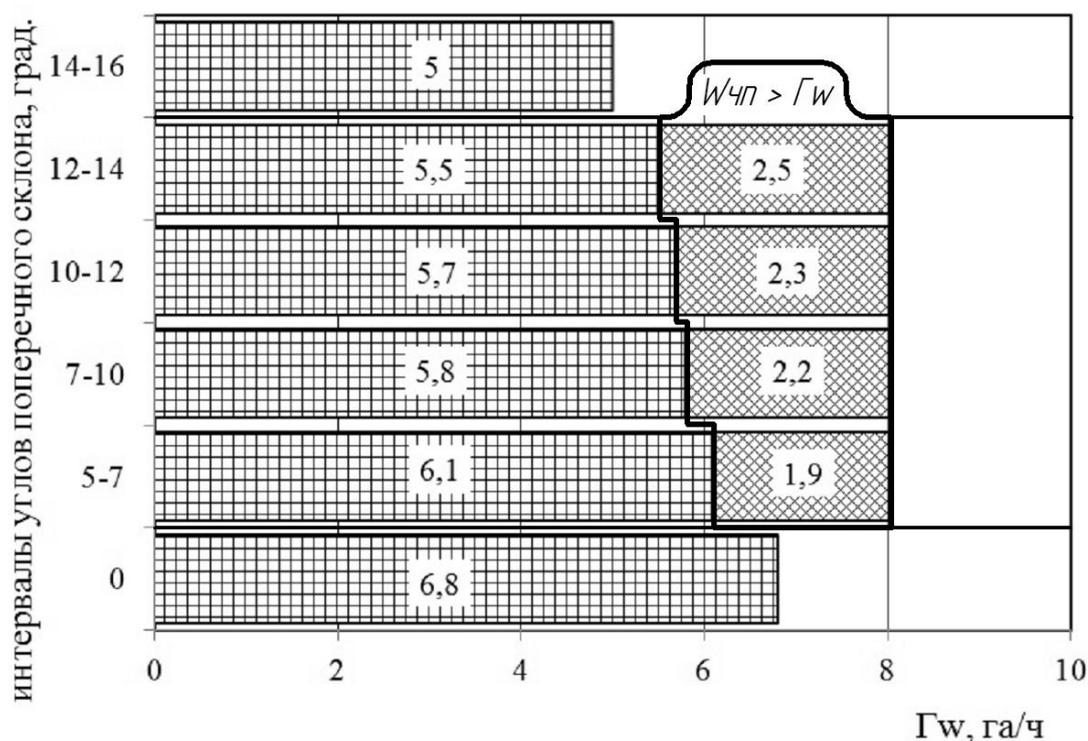


Рисунок 4.4 – Границы эффективности трактора МТЗ-82 в агрегате с культиватором КПС-4 при работе на различных по величине склонах согласно эксплуатационным характеристикам указанного трактора

Для потребителя важно знать, в какой срок окупятся его капиталовложения, и какой при этом будет экономия денежных средств в абсолютном выражении и в расчете на единицу объема работ.

Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет [144] (рис. 4.5):

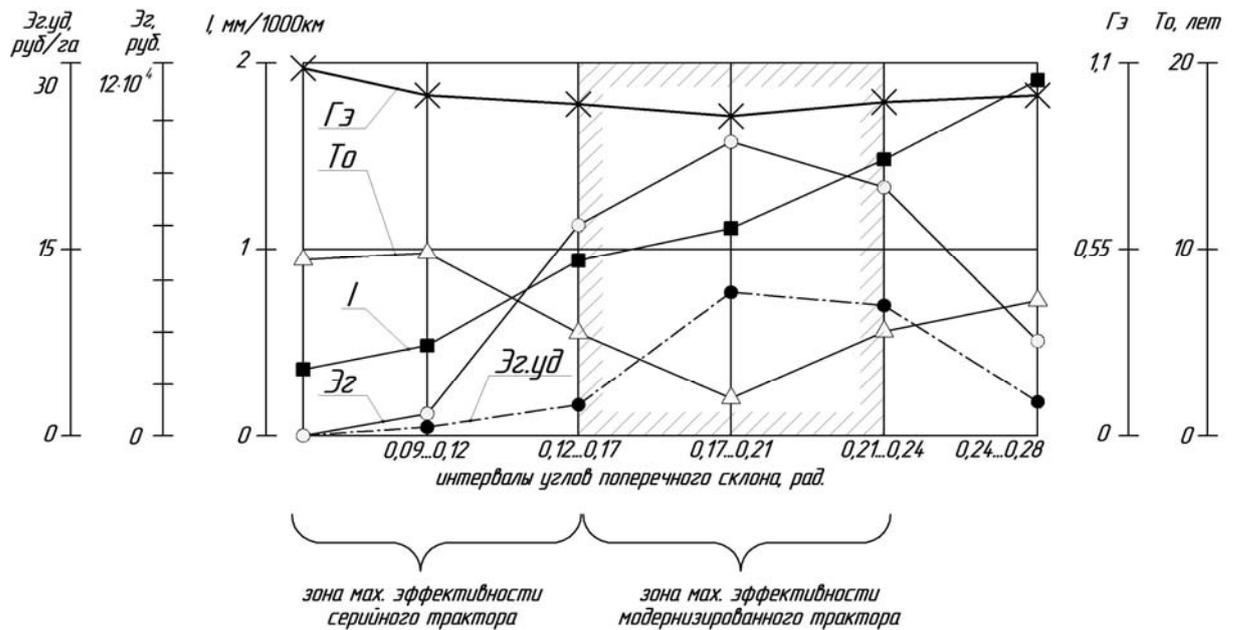
$$T_o = \frac{K_{удб} - K_{удн}}{I_{Тб} I_{Тн}} \quad (4.15)$$

Годовая экономия от снижения себестоимости выполненной операции [144] (рис. 4.5):

$$\mathcal{E}_Г = (I_{Тб} - I_{Тн}) \cdot t_{\phi} \cdot W_{ч}, \text{ руб.} \quad (4.16)$$

Годовая экономия эксплуатационных затрат с единицы объема работ (рис. 4.5):

$$\mathcal{E}_{Г\text{уд}} = \frac{\mathcal{E}_Г}{t_{\phi} \cdot W_{ч}} \quad (4.17)$$



$\mathcal{E}_{г.уд}$ - годовая экономия с единицы объема работ, руб/га; $\mathcal{E}_г$ - годовая экономия, руб; I - интенсивность износа протектора, мм/1000км; $Гэ$ - граница эффективности модернизации; $То$ - срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет.

Рисунок 4.5 – Техничко-экономические показатели в функции угла наклона опорной поверхности.

Важным показателем экономической характеристики является коэффициент потенциального резерва эффективности или, как его еще называют, коэффициентом прогрессивности новой или модернизированной техники. Который позволяет определить эффективность использования машин на тех или иных технологических операциях.

Фактическое соотношение производительностей:

$$B_{\phi} = \frac{W_{\text{чн}}}{W_{\text{чб}}} \quad (4.18)$$

Коэффициент потенциального резерва эффективности:

$$K_{PЭ} = \frac{B_{\phi} - \Gamma_{\text{э}}}{B_{\phi}} \quad (4.19)$$

Определив $K_{PЭ}$ для различных интервалов поперечного склона, используя таблицу значений вероятности [101], его сопоставляют с нормативным ($K_{PЭН} = 0,1$). Если полученный коэффициент превосходит нормативный, то это свидетельствует о том, что оснащение трактора МТЗ-82 системой стабилизации курсовой устойчивости (в нашем случае при работе в агрегате с культиватором КПС-4) находится в зоне достаточной эффективности. В нашем случае удовлетворять этому условию будет модернизированный трактор, используемый на склонах от 7 до 14 градусов. При этом коэффициент потенциального резерва колеблется в интервале от 0,16 до 0,23 (рисунок 4.6). Однако мы не получим положительного эффекта от использования модернизированных машин на склонах от 0 до 7 градусов и от 14 до 16 градусов, следовательно, использовать модернизированные машины на указанных интервалах не целесообразно. Необходимость определения коэффициента потенциального резерва эффективности для

конкретных значений угла наклона опорной поверхности позволит наиболее объективно делать выводы об эффективности эксплуатации модернизированного трактора с точки зрения ее рентабельности.

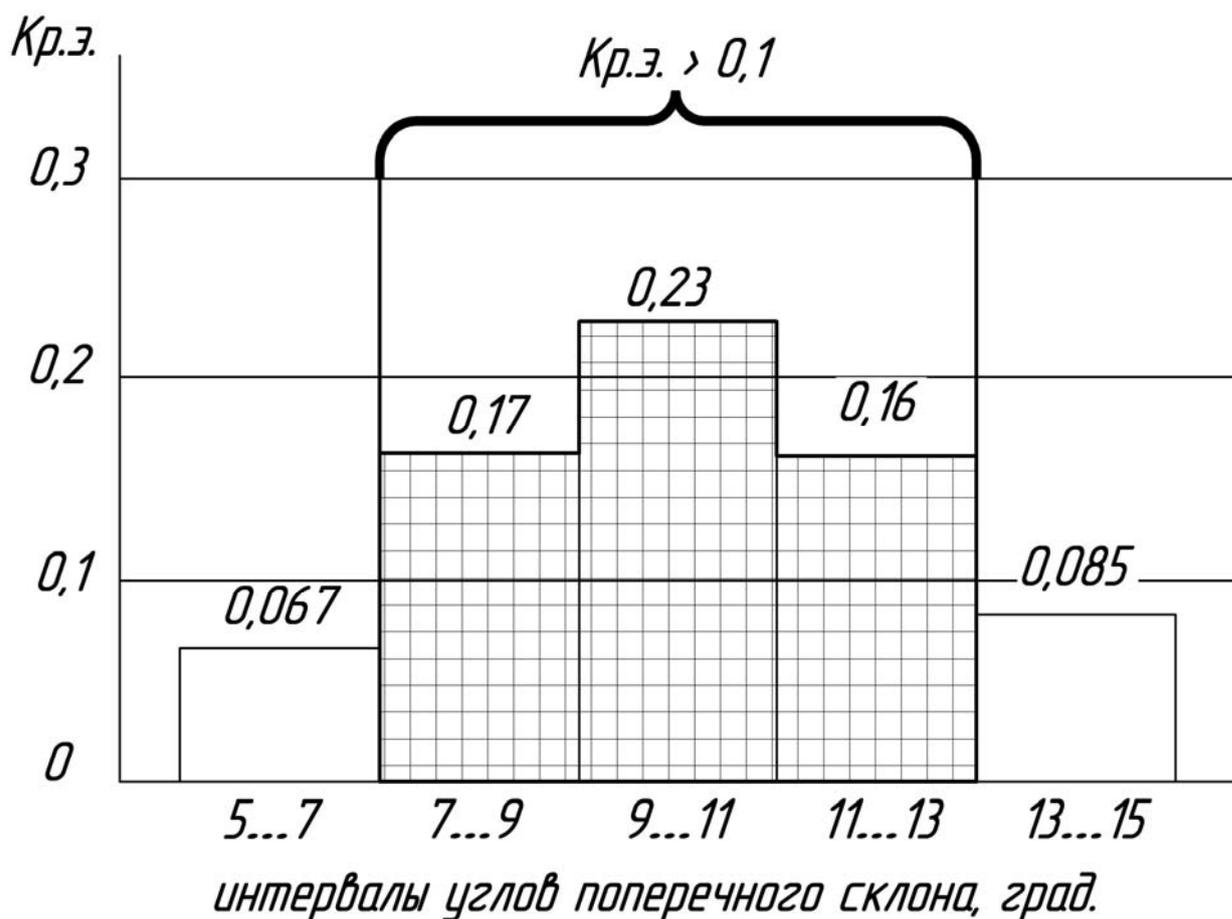


Рисунок 4.6 – Изменение коэффициента потенциального резерва эффективности в зависимости от угла наклона опорной поверхности

В текущем разделе нашей работы изложены лишь основы методики экономического обоснования целесообразности внедрения в с.-х производство тракторов с системой стабилизации курсовой устойчивости. Однако методика может быть расширена в случае необходимости путем определения ряда дополнительных показателей.

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Анализ литературных источников и специализированной научно-проектной документации показал актуальность проблемы обеспечения курсовой устойчивости колесного трактора при выполнении сельскохозяйственных операций в условиях склонового земледелия. Специфика работы тракторов на наклонных опорных поверхностях, в том числе в составе МТА, предполагает наиболее приоритетным проведение исследований с целью оптимизации конструктивно-режимных параметров колесного движителя для обеспечения реакций, компенсирующих постоянное воздействие боковой составляющей веса транспортного средства, являющейся причиной его отклонения от технологической траектории, что становится прямым нарушением агротехнологических требований и причиной снижения урожайности на 4,7 %.

2. В результате теоретических исследований обоснована возможность компенсации латерального силового воздействия на трактор вызывающего его боковой увод из технологического коридора на наклонной опорной поверхности при углах $\alpha = 0,1-0,24$ рад для грунтов с ($f_{ск}$ - коэффициент трения скольжения, f_{np} - приведенный коэффициент трения, k_{τ} - коэффициент деформации, m , τ_{cp} - модуль среза).

3. Определена функция мощности N_{cm} адекватного силового потока направленного на реализацию компенсационных боковых составляющих касательной силы тяги обеспечивающих стабилизацию машины на технологической траектории для заданного коридора движения (1,8 – 2,4 м, при ширине междурядий 0,9 м) в пределах ширины защитных зон 0,3 м.

4. Установлены зависимости параметрических характеристик рабочих элементов колесного движителя (грунтозацепов) (t шаг - 83...161 мм, h_2 высота – 35 - 52мм, U длины площади контакта – 0,17-0,31 м) и

функции их геометрической ориентации относительно продольной оси колеса в области пятна контакта для тракторов массой от 2500 до 5000 кг.

5. Разработана математическая модель процесса изнашивания рабочих элементов инновационного протектора для интерактивной технологической среды эксплуатации модернизированного трактора в пределах соотношения параметров коэффициент сцепления от 0,5 до 0,6 при $P_{cp \text{ const}}$ среднем давлении в пятне контакта от 2900 Н/м² до 4900 Н/м²

6. В результате проведения многофакторного эксперимента по схеме 2⁴ получили уравнения регрессии адекватно описывающие зависимость δ , $\Delta KД$, Gt от угла наклона опорной поверхности α , угла установки грунтозацепа β , величины крюковой нагрузки $P_{кр}$, почвенного фона φ и скорости движения V .

Проведение расчетных процедур в соответствии со значениями факторов для реальной экспериментальной базы (угла наклона опорной поверхности 0,1 рад, коэффициент сцепления $\varphi=0,8$ и длине зачетной делянки 40 м) показало соответствие значений функций отклика, как агротехнологическим требованиям, так и эксплуатационным характеристикам для экспериментальной сельскохозяйственной операции (поперечное отклонение трактора от заданной траектории 0,11 м, расход топлива 11 кг/ч, количество подруливающих воздействий 21, длительность воздействия 3с на рулевое колесо)

7. В результате проведенных экспериментальных исследований собственной устойчивости колесного трактора в режиме выполнения сельскохозяйственных операций на наклонной опорной поверхности установлен интервал отклонений от заданной траектории $\Delta KД=0,09...0,13м$, что соответствует расчетным значениям для граничных условий эксплуатации предлагаемого технического решения.

8. Как показали производственные испытания, оптимизация углов установки грунтозацепов в пределах от 0,44 до 0,78 рад для различных ландшафтных условий с углом наклона опорной поверхности от 0,1 до 0,24

рад, делает возможным реализовать мощность, утрачиваемую на буксование, для создания реакций препятствующих уходу трактора от технологической траектории на величину более чем 0,13м, при сохранении часового расхода топлива для трактора с серийным исполнением протектора.

9. В результате научно-производственных исследований установлено снижение бокового увода на 22% машинотракторного агрегата от технологической колеи при уменьшении количества корректирующих воздействий на управляющие органы энергетического модуля, что позволяет повысить качество реализации сельскохозяйственных операций в условиях ландшафтной нестабильности при увеличении производительности на 6,3 %, уменьшения расхода топлива на 7,1 %. Как показал технико-экономический анализ, эффективность внедрения инновационного протектора составит 2139,5 руб. на трактор. Срок окупаемости затрат на модернизацию составляет 1,43 года.

Список литературы

1. А.с. 1437249 СССР, МГЖЗ В 60В 15/00, В 60В 11/00. Двигатель / А.Т.Чуркин, Д. Сметнев, Ф.К. Попов (СССР). – № 4166672/27–11; заявл. 19.12.86 // Изобретения (Заявки и патенты). – опубл. 15.11.88, Бюл. № 42.
2. А. с. 441176 СССР, МКИЗ В 60В 19/00, В 60К 17/14. Активное колесо / М.В. Горбешко, В.В. Романов (СССР). – № 1673599/27–11; заявл. 05.07.71 // Изобретения (Заявки и патенты). – опубл. 3008.74, Бюл. №32.
3. А1 132961 SU В 60 В 15/26. Уширительное колесо / Баранский А.И. – №640333/27; Заявл. 05.10.59 // Изобретения (Заявки и патенты). – 1960. – №20.
4. А1 1207814 SU 4 В 60 В 15/00. Двигатель транспортного средства / Кузьмин М.М., Морозов Ю.А., Кажукало И.О. – №3800553/27–11; Заявл. 16.10.84 // Изобретения (Заявки и патенты). – 1986. – №4.
5. А.с. 132493 СССР, МПКЗ В 60С 27/20. Приспособление к ведущему колесу автомобиля / Кудря А.А. – № 655368/27 ; заявл. 20.02.60 // Изобретения (Заявки и патенты). – опубл. 1960, Бюл. № 19.
6. А1 1335489 SU 4 В 60 В 15/00. Устройство для повышения проходимости транспортного средства / Войтиков А.В., Стригунов С.И., Чешун В.С., Статкевич А.М. – №4060693/30–15; Заявл. 24.04.86 // Изобретения (Заявки и патенты). – 1987.– №33.
7. А.с. 1388335 СССР, МПКЗ В 60В 39/00, В 60В 15/00. Устройство для увеличения силы сцепления колес с поверхностью дороги / Авербух Е.А. –№ 4078245/31–11; заявл. 13.06.86 // Изобретения (Заявки и патенты). – опубл. 15.04.88, Бюл. № 14.
8. А.с. 455876 СССР, МКИЗ В 60 19/00. Колесно–шагающий двигатель /А.И. Мартынов, А.А. Мартынов, Т.А. Клыкова (СССР). – №1873906/27–11; заявл. 24.01.73 // Изобретения (Заявки и патенты). – опубл. 05.01.75, Бюл. № 1.

9. А.с. 500987 СССР, МПКЗ В 60В 15/12. Приспособление к ведущему колесу трактора / А.В. Климанов, А.В. Пономарев, В.Н. Косач, С.М. Дереза (СССР). – № 1891232/27–11; заявл. 09.03.73; // Изобретения (Заявки и патенты). – опубл. 30.01.76, Бюл. №4.
10. А1 1404372 SU 4 В 60 В 15/00, 19/00. Колесо / Гуркин Ю.И. – № 4109795/27–11; Заявл. 22.08.86 // Изобретения (Заявки и патенты). – 1988.
11. А1 1428605 SU 4 В 60 К 17/32, В62 D 49/08. Транспортное средство повышенной проходимости / Войтешонок В.С., Зарецкий В.П., Зеленый П.В., Скуртул А.И. – №4230909/31–11; Заявл. 16.04.87 // Изобретения (Заявки и патенты). – 1988. – №37.
12. А1 146187 SU В 60 К 17/34. Колесный трактор высокой проходимости / Полетаев А.Ф. – №689963/30; Заявл. 21.12.60 // Изобретения (Заявки и патенты). – 1962. – №7.
13. А1 1643195 SU 5 В 60 С 27/04. Устройство противоскольжения для колеса транспортного средства / Махароблидзе Р.М., Башилашвили Б.Б., Мируашвили В.З., Махаури М.Н. – №4684183/11; Заявл. 27.04.89 // Изобретения (Заявки и патенты). — 1991. – №15.
14. А1 1687464 SU 5 В 60 В 15/26. Устройство для повышения проходимости транспортного средства / Зимагулов А.Х., Нуруллин Р.Н., Матеев Х.Х. – №4475369/11; Заявл. 18.08.88 // Изобретения (Заявки и патенты). – 1991. – №40.
15. А1 537854 SU В 60 В 15/26. Уширитель для колеса транспортного средства / Гнеушев В.А., Костюк Н.П., Рудельсон В.Г., Танклевский М.М. – №2187167/11; Заявл. 28.10.75 // Изобретения (Заявки и патенты). – 1976. – №45.
16. Пат. 1372778 Российская Федерация, МПК 6 В 60 С 11/11. Протектор шины повышенной проходимости / Ольховик О.И.; Борданов В.И.; Нечипоренко А.Г. ; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательский институт крупногабаритных шин. – № 1372778.

17. Пат. 1412157 SU, МПК7 В 62 D 37/04. Устройство для стабилизации движения транспортного средства.
18. Пат. 1661001 Российская Федерация, МПК 5 В 60 С 11/04. Протектор пневматической шины / Ткалич В.А., Белковский В.Н., Пачев В.П. ; заявитель и патентообладатель Научно–исследовательский институт крупногабаритных шин. – № 1661001.
19. Пат. 2021901 Российская Федерация, МПК7 В 60В 15/00. Колесо /Ломоносов В.С.;– № 2319502 ; заявл. 10.07.1989 ; опубл. 30.10.1994, Бюл. № 20.
20. Пат. 2022804 Российская Федерация, МПК 5 В 60 С 11/00. Протектор шины / Мацепуро В.М., Шпилько А.В., Семенов В.А. ; заявитель Всесоюзный сельскохозяйственный институт заочного образования, патентообладатель Мацепуро В.М. – № 2022804.
21. Пат. 2025288 Российская Федерация, МПК 5 В 60 С 11/11. Рисунок протектора повышенной проходимости / Антонов В.Н.; Белковский В.Н.; Черток Е.Е.; заявитель и патентообладатель Научно–исследовательский институт крупногабаритных шин – № 2025288.
22. Пат. 2038223 Российская Федерация, МПК7 В 60С 27/20. Устройство противоскольжения пневматических шин / Колеватов М.Н. ; заявл. 04.02.92 ; опубл. 27.06.95, Бюл. №18.
23. Пат. 2042530 Российская Федерация, МПК 6 В 60 С 5/00, В 60 С 5/12. Пневматическая шина. / Князьков В. Н., Глинка А. А., Климанов Е. В., Опрышко В. Ф. ; заявитель и патентообладатель Князьков В. Н., Глинка А. А., Климанов Е. В., Опрышко В. Ф.. – № 2042530.
24. Пат. 2048989 Российская Федерация, МПК7 В 60В 15/00, В 60В 9/26. Колесо транспортного средства / Сагов М.С. – № 92012703/11 ; заявл. 17.
25. Пат. 208456 РФ, МПК6 В 62 D 37/04. Транспортное средство.

26. Пат. 2106977 Российская Федерация, МПК 6 В 60 С 11/04. Протектор пневматической, активной, реверсивной шины / Куколев С.Г. ; заявитель и патентообладатель Куколев С.Г. – № 2106977.
27. Пат. 2138419 Российская Федерация, МПК 6 В 62 D 11/18. Трансмиссия транспортного средства / Волков Ю.К., Пинигин Б.Н., Федоров В.А. ; заявитель и патентообладатель Южно–уральский государственный университет. – № 2138419.
28. Пат. 2165362 Российская Федерация, МПК 7 В 60 F 3/00. Амфибия / Гуров А.Д. ; заявитель и патентообладатель Гуров А.Д. – № 2165362.
29. Пат. 2279987 Российская Федерация МПК7 В60В 15/00, В60К 17/32. Привод колеса транспортного средства / Сорокин А.А. и др. – №2004131805/11 ; заявл. 01.11.2004; опубл. 20.07.2006, Бюл. №20.
30. Пат. 2280562 Российская Федерация, МПК 6 В 60 В 19/00, В 60 К 17/14. Колесный движитель. / Денисекно Г.И. ; заявитель и патентообладатель Денисекно Г.И. – № 2280562.
31. Пат. 25723 РФ, МПК5 В 62 D 37/04. Устройство повышения устойчивости движения транспортного средства.
32. Пат. 397411 SU, МПК6 В 62 D 37/04. Устройство стабилизации центра давления.
33. Пат. 503493 Швейцария, МПК7 В 60С 27/04. Устройство противоскольжения для колес транспортного средства / Ойген Туре, Жан–Клод Родут. ; заявитель иностранная фирма «Барри СА». – № 1838830/27–11.
34. Пат. 94031733 Российская Федерация, МПК 6 В 60 С 3/00, 11/00. Шина колеса транспортного средства, имеющая регулируемый коэффициент сцепления с дорогой. / Дмитриев А.А. ; заявитель и патентообладатель Дмитриев А.А. – № 94031733.
35. Пат. 94038407 Российская Федерация, МПК 6 В 60 С 27/04. Устройство противоскольжения пневматических шин / Жмогинов И.Л. ; заявитель и патентообладатель Жмогинов И.Л. – № 94038407.

36. Пат. 957755 SU, МПК5 В62D37/04. Устройство для стабилизации положения транспортного средства.
37. С1 2113365 RU 6 В 60 К 17/32. Устройство бесступенчатой регулировки колеи задних колес трактора / Черкасов А.А., Асманкин Е.М., Алексеев В.Н., Соколов В.Ю. – №97107103/28; Заявл. 29.04.97 // Изобретения (Заявки и патенты). – 1998. – №17.
38. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972.
39. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 231с.
40. Амельченко П.А. Агрегатирование тракторов «Беларусь». / П.А. Амельченко, Б.Я. Шнейсер, Н.Г. Шабуня. – М.: Урожай, 1993. – 302 с.
41. Амельченко П.А. Исследование и обоснование некоторых параметров крутосклонных и низкоклиренсных тракторов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / П.А. Амельченко. – Минск, 1974.
42. Амельченко П.А. Обеспечение устойчивого движения крутосклонных машинно-тракторных агрегатов. / П.А. Амельченко, П.В. Зеленый, В.В. Яцкевич и др. – Минск, 1978. – 14 с.
43. Барский И.Б. Динамика трактора / И.Б. Барский, В.Я. Анилович, Г.М. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1973. – 352с.
44. Башков А.Ф. Теория тракторов и автомобилей / А.Ф. Башков. – Оренбург, 1985.
45. Бейненсон В.Д. Оценка уплотняющего воздействия на почву и сопротивления движению трактора с резиноармированной гусеницей / В.Д. Бейненсон, А.Г. Курденков, Д.И. Золотаревская и др. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – №6. – 16-18.
46. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина / М.Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973.
47. Богданов А.В. Обоснование рационального давления воздуха в пневматических движителях колесных машин с заблокированным приводом

ведущих мостов на транспортных работах в сельском хозяйстве : дис. ... канд. техн. наук / А.В. Богданов. - Челябинск, 2003.

48. Бойков В.П. Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин / В.П. Бойков, В.Н. Белковский. - М. : Агропромиздат, 1988. - 240 с.

49. Водяник И.И. Процессы взаимодействия тракторных ходовых систем с почвой: учебное пособие / И.И. Водяник. – Кишинев: Кишиневский сельскохозяйственный институт им. М.В. Фрунзе, 1986.

50. Войтешонок В.С. Поворачиваемость полноприводного трактора класса 1.4 горной модификации на склоне: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / В.С. Войтешонок. – Минск, 1993. – 21с.

51. Войтиков А.В. Исследование курсовой устойчивости колесного трактора класса 14 кН на склоне: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / А.В. Войтиков. – Минск, БПИ. – 1979.

52. Гавриков Н.П. Альтернативный движитель для колесного трактора / Н.П. Гавриков, С.Д. Зайцев, В.Д. Бейненсон, А.Н. Гавриков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №6

53. Горшков Ю. Г. Способ повышения проходимости мобильных колесных машин сельскохозяйственного назначения / Ю. Г. Горшков, Э.Ю. Кульпин, А.В. Келлер // Тракторы и сельхозмашины. - 2010. - № 4. - с. 21-23

54. Горшков Ю.Г. Увеличение сцепного веса МТА с помощью автоматического догрузателя / Ю. Г. Горшков, А. Г. Попова, Е. В. Лисицина // Тракторы и сельхозмашины. - 2010. - № 4. - с. 21-23

55. Горшков Ю.Г. Анализ затрат мощности на качение пневматического колеса / Ю.Г. Горшков, Б.М. Куликов, А.В. Богданов, В.В. Старших // Труды ЧИМЭСХ; Повышение технико-экономических показателей сельскохозяйственных тракторов. - Челябинск, 1985.

56. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву.

57. ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. - 170 с.
58. ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. - 4 с.
59. ГОСТ Р 30745-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. - М. : Издательство стандартов, 2002. - 15с.
60. ГОСТ Р 7057-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний.- М. : Государственный комитет по стандартам, 2001. - 61с.
61. Гуськов В.В. Взаимодействие стабилизируемого колеса с наклонной поверхностью / В.В. Гуськов, И.П. Ксенович, А.И. Якубович, П.А. Амельченко // Тракторы и сельхозмашины. – 1974. – №5. – с. 8-11.
62. Гуськов В.В. О влиянии ряда факторов на курсовую устойчивость колесного трактора, работающего на склоне / В.В. Гуськов, А.В. Войтиков // Тракторы и сельхозмашины. – М.: – №2. – 1981.
63. Гуськов В.В. Технические концепции создания горно-равнинных мобильных средств механизации сельскохозяйственного производства / В.В. Гуськов, П.А. Амельченко, П.В. Зеленый, В.П. Зарецкий // Тракторы и сельхозмашины. – 1987. – №3. – с. 10-12.
64. Гуськов В.В. Тракторы: Теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др. - М. : Машиностроение, 1988. - 376 с.
65. Гячев Л.В. Динамика машинно-тракторных и автомобильных агрегатов / Л. В. Гячев. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1976. – 192 с.
66. Двали Р.Р. Бесконтактная фотооптическая система автоматического вождения трактора. / Р.Р. Двали, О.В. Маргвелашвили, А.Д. Нозадзе. – Тбилиси, Мецниереба, 1971.
67. Двали Р.Р. К вопросу влияния боковой эластичности колес на устойчивость трактора в направлении движения / Р.Р. Двали // Труды

Грузинского политехнического института, №34, механика машиностроение.
– Тбилиси, ГПИ. – 1954.

68. Дж. Вонг. Теория наземных транспортных средств. пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1982.

69. Дзаганя К.В. Влияние поперечного склона на характер движения и опорные нагрузки тракторов разных схем. / К.В. Дзаганя, О.П. Мшивилдадзе // Тракторы и сельхозмашины. – М., 1980. – №6.

70. Ефремов Д.А. Исследование управляемости и устойчивости движения колесного трактора агрегата на междурядной культивации / Д.А. Ефремов // автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Горки, 1971. – 21с.

71. Жутов А.Г. Повышение плавности хода трактора / А.Г. Жутов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – №10

72. Зеленый П.В. Влияние деформируемости опорного основания на курсовое движение наклонно расположенного колеса / П.В. Зеленый // Конструирование и эксплуатация автомобилей и тракторов. – Минск, 1988. – выпуск 2. – с. 75-79.

73. Зеленый П.В. Движение колесного трактора на склоне при асимметричном приложении крюкового усилия / П.В. Зеленый, А.Т. Самадалашвили // Конструирование и эксплуатация автомобилей и тракторов.– Минск: Вышэйшая школа, 1991. – Вып. 6. – с. 69-74.

74. Зеленый П.В. Изыскание и исследование средств повышения курсового движения колесного машинно-тракторного агрегата на склоне // дисс. ... канд. техн. наук. / П.В. Зеленый. – Минск, 1982. – 301 с.

75. Зеленый П.В. Обоснование применения стабилизированной ходовой части на универсально-пропашных тракторах повышенной устойчивости / П.В. Зеленый, О.А. Якубович // Конструирование и эксплуатация автомобилей и тракторов. – Минск, 1989. – Вып. 4. – с. 60-64.

76. Зеленый П.В. Повышение вездеходности колесных машин в сложных рельефных условиях / П.В. Зеленый, О.А. Якубович // Сборник тезисов региональной научно-технической конференции «Повышение

эффективности проектирования, испытаний, эксплуатации автомобилей и строительно-дорожных машин». – Горький, ноябрь 1988.- с. 17.

77. Злобин В. И. Повышение эффективности использования колёсного трактора класса 1,4 за счёт постановки сдвоенных колёс в сельскохозяйственном производстве амурской области : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.И. Злобин. - Благовещенск : Изд-во ДальГАУ, 2006. - 23 с.

78. Золотаревская Д.И. Выбор оптимальных параметров колесных машин и МТА / Д.И. Золотаревская // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – №7

79. Золотаревская Д.И. Расчет показателей взаимодействия движителей с почвой / Д.И. Золотаревская // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – №3

80. Зырянов А.П. Повышение эффективности использования МТА с колесными тракторами высокого тягового класса путем дифференциации их массы: автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Челябинск, 2009. – 22 с.

81. Измерительная информационная система ИП 264 : руководство по эксплуатации. РосНИИТиМ, 10 с.

82. Исследование системы движитель-почва. Сб. Науч. Тр. ВИМ. Т. 102. 1984. 179

83. Кацахадзе Д.В. Исследование перемещения центра давления и обоснование его оптимального расположения в колесных сельскохозяйственных агрегатах при работе на склоне / Д.В. Кацахадзе // автореф. дисс. ... канд. техн. наук.

84. Кереселидзе Ш.Я. О качении колеса на склоне / Ш.Я. Кереселидзе, И.А. Трошинский // Тракторы и сельхозмашины. – 1974. – №6.- С 5-8.

85. Кереселидзе Ш.Я. О современных направлениях разработки и создания трактора - склонохода / Ш.Я. Кереселидзе // Тезисы доклада

семинара по проблеме «Создание комплекса машин и орудий для механизации горного земледелия». – Тбилиси. – 1973.

86. Ким В.А. Исследование курсового движения тракторного поезда в составе трактора класса 14 кН, односклонного и двухсклонного прицепов: дис. ... канд. техн. наук. / В.А. Ким. – Минск, 1977. – 199 с.

87. Кленников Е.В. Исследование влияния некоторых эксплуатационных факторов на распределение напряжений в контакте и износ шин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Е.В. Кленников. – М. – 1969.

88. Климанов А.В. Улучшение тягово-сцепных и агротехнических свойств тракторов : учебное пособие / А.В. Климанов. – Самара, 2001.

89. Колобов Г.Г. О реализации Стратегии развития тракторного и сельскохозяйственного машиностроения / Г.Г. Колобов и др. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 1.

90. Коновалов В.Ф. Устойчивость и управляемость машинно-тракторных агрегатов / В.Ф. Коновалов. – Пермь: Пермский СХИ, 1969. - 444 с.

91. Концепция развития сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2010 года. – М.: ВИМ, 2002. – 52 с.

92. Коцарь Ю.А. Повышение динамических качеств полноприводных колесных тракторов с шинами равного размера путем перераспределения ведущего момента в двигателе : дис. ... докт. техн. наук / Ю.А. Коцарь. - Саратов, 2003.

93. Кравченко В.А. Тестерные испытания шин для трактора тягового класса 1,4 / В.А. Кравченко, В.Г. Яровой, М.В. Годунов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. – №1

94. Ксенович И.П. Проблема воздействия двигателей на почву: некоторые результаты исследований / И.П. Ксенович, В.А. Русанов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000. - №1.

95. Ксенович И.П. Тракторы МТЗ-80 и МТЗ-82 / И.П. Ксенович. - М.: Колос, 1975. - 248 с.

96. Ксеневиц И.П. Тягово-сцепные качества крутосклонного трактора со всеми ведущими стабилизируемыми колесами / И.П. Ксеневиц, А.И. Якубович, П.А. Амельченко, В.В. Гуськов // Тракторы и сельхозмашины. – 1976. – №2. – с. 6-8.
97. Ксеневиц И.П. Ходовая система - почва - урожай / И.П. Ксеневиц, В.А.Скотников, М.Н. Ляско. –М. : Агропромиздат, 1985. – 304 с.
98. Ксеневиц И.П. Блочно-модульные МТА / И.П. Ксеневиц, Г.М. Кутьков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1990. – № 1. – 8-10.
99. Ксеневиц И.П. Сельскохозяйственные тракторы нетрадиционных компоновок / И.П. Ксеневиц, А.П. Парфенов, С.Е. Либцис. – Минск: Полибиг, 1998.
100. Кузьмицей А.В. Колесо: резервы энергосбережения / А.В. Кузьмицей // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – №2.
101. Кутьков Г.М. Технологические основы мобильных энергетических средств / Г.М. Кутьков. – Часть 1. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 1999. – 150 с.
102. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. – М.: КолосС, 2004. – 504 с.
103. Лаптев В.Н. Определение оптимальной высоты грунтозацепов шин ведущих колес сельскохозяйственных тракторов / В.Н. Лаптев, В.Н. Антонов // Производство шин, резинотехнических и асбестотехнических изделий. – 1983. – №12.
104. Левин М.А. Исследование стационарного качения деформируемого колеса, по деформированному основанию / М.А. Левин, В.П. Бойков. - Минск: Высшая школа. – 1984.
105. Лопарев А.А. Исследование процесса буксования трактора МТЗ-80 на почве, подготовленной под посев // Сборник научных трудов, Анализ работы и пути повышения эффективности использования тракторов и

автомобилей в условиях сельскохозяйственного производства Предуралья и Поволжья / пол ред. Е.Я. Тур. – Горький: ГСХИ, 1983. – 160 с. – С. 13-16.

106. Лутаев И.М. Исследование тяговых свойств колесного трактора с навесными машинами на склонах: автореф. дисс. ...канд. техн. наук. / И.М. Лутаев. – Киев, 1960. – 19 с.

107. Львов Е.Д. Теория трактора / Е.Д. Львов. – М.: Машгиз, 1952.

108. Макаров В.Р. Исследование взаимодействия колесного трактора с почвой на склонах в условиях Ставропольского края с помощью изотопов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / В.Р. Макаров. – Л.: 1961.- 26 с.

109. Малкин И. Г. Теория устойчивости движения / И. Г. Малкин. – М. : Наука, 1966. – 530 с.

110. Мамити Г.И. Устойчивость колесного трактора в повороте / Г.И. Мамити, М.С. Льянов, С.Х. Плиев, З.С. Залбиева // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. - №8. – с. 18-20.

111. Мамити Г.И. Формирование оптимальной устойчивости колесной машины на стадии проектирования / Г.И. Мамити, С.Х. Плиев // Вестник машиностроения. – 2009. – №2.

112. Маргвелашвили О.В. Автовождение трактора с помощью фотооптической системы управления. / О.В. Маргвелашвили. – Тбилиси, Мецниереба. – 1975.

113. Маргвелашвили О.В. Исследование явления бокового увода эластичных тракторных колес / О.В. Маргвелашвили // Труды Грузинского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства. – Тбилиси. – 1958.

114. Махмутов М.М. Оптимизация числа объемных зацепов на колесных движителях / М.М. Махмутов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №10.

115. Махмутов М.М. Оптимизация параметров колесного движителя / М.М. Махмутов, К.А. Хафизов, П.И. Макаров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – №2.

116. Махмутов М.М. Тенденции развития устройств противоскольжения / М.М. Махмутов, К.А. Хафизов, Г.Г. Галлеев, Г.Р. Муртазин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – №2.
117. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников [и др.]. – Л. : Колос, 1981. – 150 с.
118. Мисакян Р.Х. Движение тракторного агрегата на склонах с применением контролирующих устройств: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / Р.Х. Мисакян. – Ереван, 1968. – 21 с.
119. Михайлов А.В. Обоснование методики повышения эффективности эксплуатации колесных тракторов класса 1.4: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Михайлов. – Оренбург. – 2004.
120. Мшвилдадзе О.П. Механико-технологические основы создания технических средств, стабилизирующих направление движения крутосклонного сельскохозяйственного агрегата: автореф. дисс. ... док. техн. наук. / О.П. Мшвилдадзе. – Тбилиси, 1981. – 35 с.
121. Надыкто, В.Т. Управляемость и устойчивость движения агрегата на основе МЭС / В.Т. Надыкто // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – №7.
122. Непаридзе Г.М. Создание механизмов, противодействующих сползанию крутосклонного трактора / Г.М. Непаридзе, О.П. Мшвилдадзе // Тракторы и сельхозмашины. – 1971. - №2. – с.14-16.
123. Носов С.В. Анализ тяговой динамики колесного трактора при работе на мягких почвах / С.В. Носов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №3
124. Орсик Л.С. Состояние и перспективы механизации растениеводства России / Л.С. Орсик // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. – 2002. – №1. – 2-4.
125. Пасеченко П.М. Исследование устойчивости прямолинейного движения трактора с четырьмя ведущими колесами при работе с навесным

плугом на поперечных склонах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. / П.М. Пасеченко. – Киев, 1965. – 18 с.

126. Плужников С.В. Повышение тягово-цепных свойств колесных полноприводных тракторов с шинами равного размера путем перераспределения нормальных реакций по ведущим осям: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2003.

127. Повышение универсальности и эффективности энергетических средств за счет использования МТА на базе тракторов интегральной схемы по данным анализа зарубежной информации : отчет НАТИ к договору Д-80-85-2715 с ПО ЛТЗ, 1999.

128. Погорелов С.В. Повышение устойчивости прямолинейного движения тракторных поездов посредством использования тягово-цепного устройства с регулятором курсового угла: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2006. – 192 с.

129. Полевицкий К.К. Анализ движения трактора с оптической системой автовождения. / К.К. Полевицкий. – М.: Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1973. – №5.

130. Поливаев О.И. Снижение динамических нагрузок в машинно-тракторных агрегатах / О.И. Поливаев. – Воронеж : ВГАУ, 2000. – 197 с.

131. Попов А.Н. Шагающий движитель для тракторов / А.Н. Попов, А.В. Победин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1995. – №8.

132. Поспелов Ю. А. Устойчивость трактора / Ю. А. Поспелов. - М. : Машиностроение, 1968. – 247 с.

133. Программа «Испытания» (версия 3.4): руководство по эксплуатации. РосНИИТиМ, 19 с.

134. Рокар И. Неустойчивость в механике / И. Рокар. – М. : Изд. иностранной литературы, 1959. – 287 с.

135. Рославцев А.В. Теория движения тягово-транспортных средств / А.В. Рославцев. – М.: УМЦ «Триада», 2003 - 172 с.

136. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин / Г.А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
137. Сорокин Н.Т. Перспективы развития отрасли и повышения технической оснащённости села / Н.Т. Сорокин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – №10. – С. 2-3.
138. Стратегии инновационного развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года. Москва – 2011
139. Сураев Н.Г. Оптимальный типаж сельскохозяйственных тракторов на основе виртуального типоразмерного ряда / Н.Г. Сураев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000. – №11. – 22-25.
140. Проспекты тракторов CLAAS, JOHN DEERE 2012 год.
141. Трепененков И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов / И.И. Трепененков. – М.: Машгиз, 1963, – 271 с.
142. Фирсов М.М. Планирование эксперимента при создании сельскохозяйственной техники / М.М. Фирсов. – М., Изд. МСХА, 1999. – 130с.
143. Фролова Г.Н. Исследование тягово-сцепных свойств трактора МТЗ-82 со сдвоенными колесами при криволинейном движении в условиях Дальнего Востока: дис. ... канд. техн. наук / Г.Н. Фролова. – Благовещенск, 2004. – 160 с.
144. Хижняк А.А. Экономическая эффективность новой сельскохозяйственной техники / А.А. Хижняк, Е.Н. Денисова. – Оренбург: 2001.
145. Хухуни Т.В. О курсовой неустойчивости колеса на склоне / Т.В. Хухуни. – М.: Тракторы и сельхозмашины, 1980. – №8.
146. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета тракторов и автомобилей / Д.А. Чудаков. – М.: Колос, 1972. – 364 с.
147. Шины для сельскохозяйственных машин: Справочное пособие. – М.: Химия, 1980.

148. Шкарлет А.Ф. Энергозатраты и воздействие на почву полноприводных тракторов / А.Ф. Шкарлет, В.А. Исмаилов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – №5.
149. Шпилько А.В. Методика экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / А.В. Шпилько и др. – М.: 1998. – 252 с.
150. Щетинин Ю.С. Влияние вертикальной нагрузки на тяговые свойства пневматического колеса / Ю.С. Щетинин, В.В. Никитин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №6.
151. Яровой В.Г., Совершенствование пневматических шин мобильной техники / В.Г. Яровой, В.А. Кравченко, А.Ф. Шкарлет, В.А. Оберемок, С.Г. Пархоменко, А.В. Яровой, И.М. Меликов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – №7.
152. АН O.S. Me Kyese. Traction Characteristics of lugs for tires / O.S. АН. ASAE Transactions, 1978, vol. 21, N2.
153. Automation of mobile farm machinery and problems of environmental protection. Coauthor Trofimov V.A. J. Commercial Vehicles. – 1992. pp. 116 - 120.
154. Carman K. Compaction characteristics of towed wheels on clay loam in a soil bin J. Soil Tillage Res. – 2002. Vol. 65, №1. P. 37-43.
155. Defossez P., Richard G. Model of soil compaction due to traffic and their evaluation J. Soil Tillage Res. –2002. Vol. 67, №1. P. 41-64.
156. Fee R. Big equipment drives compaction deeper Successful Farming. – 1982. Vol. 84, 5. p. 20-21.
157. Die technische Umgestaltung der landwirtschaftlichen Produktion-Aufgaben und Losungen. Agrartechnik. –1985. Bd. 5. pp. 195-197.
158. Frost J. P. Soil compaction Agricultural in Northern Ireland. – 1984. Vol. 58,0 11. P. 31-34.

159. House M. L., Powers W. L., Eisenhauer D. E. Spatial analysis of machine-wheel traffic effects on soil physical properties J. Soil Sc. Soc. America. 2001. Vol. 65, №5. P. 76-84.
160. Is soil compaction always bad? - Implement and Tractor, –1979, 94,1, p. 17-21,50-52.
161. Marking S. Soil compaction presses profits Soybean Digest. –1984. Vol. 44, 9 P. 8-10.
162. Problems of protection of the air basin: The study of influence of ozone ions on the fuel for engines of internal combustion // Roy. Swed. Acad, of Eng. Sciences. –1995. June. – P.12. – ОТА.ОТТ.
163. Richard G., Cousin I., Sillon J. F. Effect of compaction on the porosity of a silty soil // Europ. J. Soil Sc. –2001. Vol. 52, №1. P. 49-58.
164. Thomas K. Soil compaction and soil tillage studies in agricultural soil mechanics // Doctoral thesis. Department of soil sciences. Uppsala, Sweden. 2004.
165. Геррман Х. Шнековые машины в технологии / Х. Геррман Химия. – 1972.
166. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей / В.С. Люкшин. – М. – Машиностроение. – 1967. – 372с.
167. Соколов М.В. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин: Монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, О.В. Ефремов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. М.: "Издательство Машиностроение-1", – 2004. –248 с.
168. Курс теоретической механики: Учебник для вузов / В. И. Дронг, В. В. Дубинин, М. М. Ильин и др.; Под общ. ред. К. С. Колесникова. 3-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. –736 с.
169. Инструкция по эксплуатации AgGPS 252.
170. <http://www.skbis.ru/index.php?p=14>

Список условных обозначений

<i>обозначение</i>	<i>описание</i>
<i>A</i>	
α	угол наклона опорной поверхности, град
a	расстояния от центра масс до задней оси трактора, м
A, B	точки пересечения осей передних и задних соответственно колес с плоскостью симметрии трактора
<i>B</i>	
B	ширина колеи, м
β	угол установки грунтозацепа, рад
<i>C</i>	
C	центр масс трактора
c_z	поперечная жесткость соответствующей шины, Н/м
c_γ	коэффициент пропорциональности между поперечной и угловой деформацией соответствующей шины, м/рад
<i>D</i>	
Δ	поперечная деформация соответствующей шины, м
δ'_A, δ'_B	буксование переднего и заднего нижних по склону колес соответственно
δ''_A, δ''_B	буксование переднего и заднего верхних по склону колес соответственно
$\delta^{A'}_{\bar{b}}, \delta^{B'}_{\bar{b}}$	боковое буксование переднего и заднего колес соответственно нижнего по склону борта
$\delta^{A''}_{\bar{b}}, \delta^{B''}_{\bar{b}}$	боковое буксование переднего и заднего колес соответственно верхнего по склону борта
<i>E</i>	
e	отклонение продольной плоскости колеса от центра тяжести пятна контакта
<i>F</i>	
f	смещение продольной оси шины от продольной оси колеса, м
$f_{ск}$	коэффициент трения скольжения
$f_{пр}$	приведенный коэффициент трения
φ	суммарный угол увода, град
$\sum F_x$	сумма проекций сил на ось ОХ, Н
$\ddot{\varphi}$	угловое ускорение, рад/с ²
$\sum F_y$	сумма проекций сил на ось ОУ, Н
$F_{тр}$	сила трения между почвой и материалом грунтозацепа резину, Н

обозначение	описание
G	
G_K	текущее значение нормальной нагрузки, Н
$G_{тр}$	вес трактора, Н
$G_{тр.пер.}$	вес трактора приходящийся на передний мост трактора, Н
$G_{K \max}$	максимальное значение нагрузки при относительной деформации $\frac{h_z}{b} = 0,19$, Н
H	
h	высота центра тяжести, м
h_z	высота грунтозацепа, м
h_z	смещение продольной оси протектора
J	
J_c	момент инерции центра масс, кг/м ²
K	
$k_{упр.n}$	коэффициент упругости почвы, Н/м
k_τ	коэффициент деформации, м
$k_{св}$	коэффициент связи между угловой и поперечной деформациями соответствующей шины, рад./м
L	
$l_{кр}$	координата расположения точки прицепа, м
L	колесная база трактора, м
M	
m_A	доля массы трактора, приходящаяся на переднее эквивалентное колесо, кг
$M_{ст}$	стабилизирующий момент, Н · м
$M_{ув}$	момент увода, Н/м
$\sum M_i$	сумма моментов относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс, Н · м
μ	угол трения между материалом протектора и материалом опорного основания
N	
$\eta B \xi$	плоскость трактора
$N_{cn}^{A'}, N_{cn}^{B'}$	мощность реализуемая боковой составляющей веса трактора приходящейся на переднее и заднее нижние по склону колеса соответственно, Вт
$N_{cn}^{A''}, N_{cn}^{B''}$	мощность реализуемая боковой составляющей веса трактора приходящейся на переднее и заднее верхние по склону колеса соответственно, Вт

<i>обозначение</i>	<i>описание</i>
$N_{\delta}^{A'}, N_{\delta}^{B'}$	мощность затрачиваемая на буксование приходящаяся на переднее и заднее нижние по склону колеса соответственно, Вт
$N_{\delta}^{A''}, N_{\delta}^{B''}$	мощность затрачиваемая на буксование приходящаяся на переднее и заднее верхние по склону колеса соответственно, Вт
$N_{cm}^{A'}, N_{cm}^{B'}$	мощность стабилизации для переднего и заднего нижних по склону колес соответственно, Вт
$N_{cm}^{A''}, N_{cm}^{B''}$	мощность стабилизации для переднего и заднего верхних по склону колес соответственно, Вт
P	
P_Z	составляющая веса трактора параллельная склону, Н
P_Z^A, P_Z^B	доля веса трактора, параллельная уклону, приходящаяся на переднее и заднее эквивалентное колесо соответственно, Н
$P_Z^{A'}, P_Z^{B'}$	доля веса трактора, параллельная уклону, приходящаяся на переднее и заднее нижние по склону колеса соответственно, Н
$P_Z^{A''}, P_Z^{B''}$	доля веса трактора, параллельная уклону, приходящаяся на переднее и заднее верхние по склону колеса соответственно, Н
P_K^A, P_K^B	касательные силы тяги, развиваемые передними и задними эквивалентными колесами соответственно, Н
$P_K^{A'}, P_K^{B'}$	касательная сила тяги, развиваемая передним и задним нижними по склону колесами соответственно, Н
$P_K^{A''}, P_K^{B''}$	касательная сила тяги, развиваемая передним и задним верхними по склону колесами соответственно, Н
P_f	результатирующая сила сопротивления перекатыванию, Н
P_f^A, P_f^B	суммарные силы сопротивления качению на переднем и заднем соответственно эквивалентных колесах, Н
$P_{кр}^A, P_{кр}^B$	крюковая нагрузка приходящаяся на переднее и заднее эквивалентные колеса соответственно, Н
$P_{кр}$	крюковая нагрузка, Н
$P_{Кб}^A, P_{Кб}^B$	боковая (стабилизирующая) составляющая касательной силы тяги приходящаяся на переднее и заднее соответственно эквивалентные колеса, Н
$P_{Кб}^{A'}, P_{Кб}^{B'}$	боковая (стабилизирующая) составляющая касательной силы тяги приходящаяся на переднее и заднее соответственно колеса нижнего по склону борта, Н
$P_{Кб}^{A''}, P_{Кб}^{B''}$	боковая (стабилизирующая) составляющая касательной силы тяги приходящаяся на переднее и заднее соответственно колеса верхнего по склону борта, Н

<i>обозначение</i>	<i>описание</i>
$P_{K\tau}$	тангенциальная составляющая касательной силы тяги, Н
R	
R_Z	реакция почвы
R_Z^A, R_Z^B	суммарные боковые реакции в пятнах контакта переднего и заднего эквивалентных колес соответственно, Н
r_K	радиус колеса, м
T	
τ_{cp}	модуль среза
t	шаг грунтозацепа, м
U	
U	длина площади контакта, м
V	
V	вектор абсолютной скорости, м/с
V'	продольная составляющая вектора абсолютной скорости, м/с
V''	поперечная составляющая вектора абсолютной скорости, м/с
V'_A, V'_B	продольная составляющая вектора абсолютной скорости на переднем и заднем нижних по склону колесах соответственно, м/с
V''_A, V''_B	продольная составляющая вектора абсолютной скорости на переднем и заднем верхних по склону колесах соответственно, м/с
$V_{cm}^{A'}, V_{cm}^{B'}$	скорость бокового перемещения переднего и заднего колес нижнего борта соответственно, м/с
$V_{cm}^{A''}, V_{cm}^{B''}$	скорость бокового перемещения переднего и заднего колес соответственно верхнего борта, м/с
$V_{m.np.}^{A'}, V_{m.np.}^{B'}$	боковая скорость точки протектора переднего и заднего колес соответственно нижнего по склону борта, м/с
$V_{m.np.}^{A''}, V_{m.np.}^{B''}$	боковая скорость точки протектора переднего и заднего колес соответственно верхнего по склону борта, м/с
W	
w	ширина профиля шины, м
ω_K	угловая скорость колеса, с ⁻¹
X	
XOY	подвижную плоскость склона
$X_1O_1Y_1$	неподвижную плоскость склона
X_c	поперечное отклонение центра масс, м
x_A	упругое смещение колеса в поперечном направлении в результате сдвига и смятия почвы протектором в пятне

<i>обозначение</i>	<i>описание</i>
	их контакта, м
\ddot{x}_A	ускорение переднего эквивалентного колеса вдоль оси ОХ, м/с ²
x_{A0}	отклонено от заданного курса в поперечном направлении относительно заданного курса, м
\ddot{x}_c	ускорение центра масс вдоль оси ОХ, м/с ²
Y	
γ	угол увода колеса, град
γ_A, γ_B	углы увода переднего и заднего эквивалентных колес соответственно, град
γ'_A, γ'_B	угол увода переднего и заднего нижних по склону колес соответственно, град
γ''_A, γ''_B	угол увода переднего и заднего верхних по склону колес соответственно, град
Y_A, Y_B	вертикальная реакция на левом и правом колесах соответственно, Н
\ddot{y}_c	ускорение центра масс вдоль оси ОУ, м/с ²

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ



УТВЕРЖДАЮ

Председатель СПК «колхоз» им. Ю.А.



**АКТ ВНЕДРЕНИЯ
РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ,
ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ**

Настоящим актом подтверждается что: в период с 09.07.2013 г. по 20.07.2013 г. в СПК «колхоз» им. Ю.А. Гагарина Оренбургского района, Оренбургской области в соответствии с комплексной темой НИР Оренбургского государственного аграрного университета «Разработка высокоэффективных зональных машинных технологий и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции растениеводства» проводилось исследование устойчивости движения колесного трактора МТЗ-82 со стабилизирующим протектором на технологических грунтах с углом наклона в пределах от 5° до 16° с целью определения величины отклонения от прямолинейной траектории на заданном участке пути от 30 до 100 м.

Вид внедренных результатов: технология

Форма внедрения: методика ускоренных испытаний

Характеристика масштаба внедрения: единичное

Объем внедрения хозяйство

Социальный и научно-технический эффект: повышение уровня эксплуатационной техно-технологичности колесного трактора сельскохозяйственного назначения

Состав комиссии:

Представители СПК «колхоз» им. Ю.А. Гагарина
бригадир полеводческой бригады

Тишин В.А.

Представители ФГБОУ ВПО ОГАУ
инженер

Стеновский В.С.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ

ВПО ОГАУ, д.с.-х.н., профессор


Г.В. Петрова
20 13 г.



УТВЕРЖДАЮ

Председатель СПК «колхоз» им. Ю.А.

Гагарина Оренбургского района


В.П. Пузий
«13» июля 20 13 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ, ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

Настоящим актом подтверждается что: в период с 09.07.2013 г. по 20.07.2013 г. в СПК «колхоз» им. Ю.А. Гагарина Оренбургского района, Оренбургской области в соответствии с комплексной темой НИР Оренбургского государственного аграрного университета «Разработка высокоэффективных зональных машинных технологий и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции растениеводства» проводилось исследование собственной устойчивости колесного трактора МТЗ-82 с стабилизирующим протектором на горизонтальной опорной поверхности в граничных условиях (бетон-стерня) с целью определения боковой составляющей касательной силы тяги.

Вид внедренных результатов: технология

Форма внедрения: методика ускоренных испытаний

Характеристика масштаба внедрения: единичное

Объем внедрения хозяйство

Социальный и научно-технический эффект: повышение уровня эксплуатационной техно-технологичности колесного трактора сельскохозяйственного назначения

Состав комиссии:

Представители СПК «колхоз» им. Ю.А. Гагарина
бригадир полеводческой бригады

Представители ФГБОУ ВПО ОГАУ
инженер


Тишин В.А.

Стеновский В.С.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ

ВПО ОГАУ, д.с.-х.н., профессор


Г.В. Петрова

«6» Июля 2013 г.



УТВЕРЖДАЮ

Глава КХ «Кипрей» д. Карайгер,

Кувандыкского района


С.А. Марухин

«25» июля 2013 г.



**АКТ ВНЕДРЕНИЯ
РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ,
ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ**

Настоящим актом подтверждается что: в период с 22.07.2013 г. по 25.07.2013 г. в КХ «Кипрей» д. Карайгер, Кувандыкского района, Оренбургской области в соответствии с комплексной темой НИР Оренбургского государственного аграрного университета «Разработка высокоэффективных зональных машинных технологий и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции растениеводства» проводилось исследование устойчивости движения колесного трактора МТЗ-82 со стабилизирующим протектором на технологических грунтах с углом наклона в пределах от 5^0 до 16^0 с целью определения величины отклонения от прямолинейной траектории на заданном участке пути от 30 до 100 м.

Вид внедренных результатов: технология

Форма внедрения: методика ускоренных испытаний

Характеристика масштаба внедрения: единичное

Объем внедрения хозяйство

Социальный и научно-технический эффект: повышение уровня эксплуатационной техно-технологичности колесного трактора сельскохозяйственного назначения

Представители ФГБОУ ВПО ОГАУ
инженер



Стеновский В.С.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ

ВПО ОГАУ, д.с-х.н., профессор

Г.В. Петрова

«26» июля 2013 г.



УТВЕРЖДАЮ

Глава КХ «Кипрей» д. Карайгер,

Кувандыкского района

С.А. Марухин

«25» июля 2013 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

**РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ,
ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ**

Настоящим актом подтверждается что: в период с 22.07.2013 г. по 25.07.2013 г. в КХ «Кипрей» д. Карайгер, Кувандыкского района, Оренбургской области в соответствии с комплексной темой НИР Оренбургского государственного аграрного университета «Разработка высокоэффективных зональных машинных технологий и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции растениеводства» проводилось исследование собственной устойчивости колесного трактора МТЗ-82 с стабилизирующим протектором на горизонтальной опорной поверхности в граничных условиях (бетон-стерня) с целью определения боковой составляющей касательной силы тяги.

Вид внедренных результатов: технология

Форма внедрения: методика ускоренных испытаний

Характеристика масштаба внедрения: единичное

Объем внедрения хозяйство

Социальный и научно-технический эффект: повышение уровня эксплуатационной технологичности колесного трактора сельскохозяйственного назначения

Представители ФГБОУ ВПО ОГАУ
инженер

Стеновский В.С.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ

ВПО ОГАУ, д.с-х.н., профессор

Г.В. Петрова

20 14 г.



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «Им. 11

Кавдивизии» с. Нижняя Павловка,

Оренбургского района

Д.А. Утегенов

20 14 г.



**АКТ ВНЕДРЕНИЯ
РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ,
ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ**

Настоящим актом подтверждается что: в период с 13.05.2014 г. по 17.05.2014 г. в ООО «Им. 11 Кавдивизии» Оренбургского района, Оренбургской области в соответствии с комплексной темой НИР Оренбургского государственного аграрного университета «Разработка высокоэффективных зональных машинных технологий и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции растениеводства» проводилось исследование устойчивости движения колесного трактора МТЗ-82 со стабилизирующим протектором на технологических грунтах с углом наклона в пределах от 5° до 16° с целью определения величины отклонения от прямолинейной траектории на заданном участке пути от 30 до 100 м.

Вид внедренных результатов: технология

Форма внедрения: методика ускоренных испытаний

Характеристика масштаба внедрения: единичное

Объем внедрения хозяйство

Социальный и научно-технический эффект: повышение уровня эксплуатационной технологичности колесного трактора сельскохозяйственного назначения

Состав комиссии:

Представители ООО «Им. 11 Кавдивизии»

гл. инженер

 Астафьев С.Ф.

Представители ФГБОУ ВПО ОГАУ

инженер

 Стеновский В.С.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ

ВПО ОГАУ, д.с-х.н., профессор

Г.В. Петрова



«20 мая» 20 14 г.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «Им. 11

Кавдивизии» с. Нижняя Павловка,

Оренбургского района

Д.А. Утегенов

«17 мая» 20 14 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

**РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ,
ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ**

Настоящим актом подтверждается что: в период с 13.05.2014 г. по 17.05.2014 г. в ООО «Им. 11 Кавдивизии» с. Нижняя Павловка, Оренбургского района, Оренбургской области в соответствии с комплексной темой НИР Оренбургского государственного аграрного университета «Разработка высокоэффективных зональных машинных технологий и оборудования нового поколения для производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции растениеводства» проводилось исследование собственной устойчивости колесного трактора МТЗ-82 с стабилизирующим протектором на горизонтальной опорной поверхности в граничных условиях (бетон-стерня) с целью определения боковой составляющей касательной силы тяги.

Вид внедренных результатов: технология

Форма внедрения: методика ускоренных испытаний

Характеристика масштаба внедрения: единичное

Объем внедрения хозяйство

Социальный и научно-технический эффект: повышение уровня эксплуатационной техно-технологичности колесного трактора сельскохозяйственного назначения

Состав комиссии:

Представители ООО «Им. 11 Кавдивизии»

гл. инженер

 Астафьев С.Ф.

Представители ФГБОУ ВПО ОГАУ

инженер

 Стеновский В.С.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2330763

ПРОТЕКТОР ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ

Патентообладатель(ли): **ФГОУ ВПО "Оренбургский
государственный аграрный университет" (RU)**

Автор(ы): *с.м. на обороте*

Заявка № 2006131976

Приоритет изобретения 05 сентября 2006 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 10 августа 2008 г.

Срок действия патента истекает 05 сентября 2026 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам



A handwritten signature in black ink, appearing to read "B.P. Simonov".

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 330 763** ⁽¹³⁾ **C2**(51) МПК
B60C 11/113 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) За вка: 2006131976/11, 05.09.2006

(24) Дата начала отсчета срока действи патента:
05.09.2006

(43) Дата публикации за вки: 20.03.2008

(45) Опубликовано: 10.08.2008 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2219069 C2, 20.10.2002. EP 1108565
A, 20.06.2001. US 4254811 A, 10.03.1981.
Бидерман В.Л. и др. Автомобильные шины. - М.:
Госхимиздат, 1963, 189 с.Адрес дл переписки:
460795, г.Оренбург, ул. Челюскинцев, 18, ОГАУ

(72) Автор(ы):

Стеновский В чеслав Сергеевич (RU),
Асманкин Евгений Михайлович (RU),
Маловский Николай Анатольевич (RU),
Медведев Валерий Евгеньевич (RU),
Реймер Вадим Валерьевич (RU),
Черкасов Андрей Анатольевич (RU)

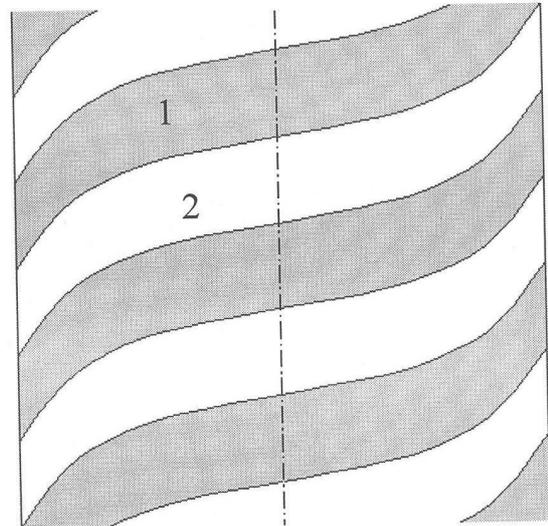
(73) Патентообладатель(и):

ФГОУ ВПО "Оренбургский государственный
аграрный университет" (RU)

(54) ПРОТЕКТОР ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ

(57) Реферат:

Изобретение относитс к пневматическим
шинам преимущественно дл пневмоколесных
транспортных средств, работающих в услови х
бездорожь , на деформируемых, в зких и/или
слабонесущих грунтах, обеспечивающих сцепление
шин ведущих колес сельскохозяйственных
тракторов с несущим основанием. Протектор
пневматической шины содержит грунтозацепы,
которые выполнены по форме тангенсоиды, причем
рассто ние между ними равно ширине самого
грунтозацепа. Технический результат -
обеспечение достаточной курсовой устойчивости
транспортного средства на наклонной поверхности,
повышение производительности, безопасности. 2
ил.



Фиг. 1

RU 2 3 3 0 7 6 3 C 2

RU 2 3 3 0 7 6 3 C 2

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2399538

**СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ КОЛЕСНОГО
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное
общеобразовательное учреждение высшего профессионального
образования "Оренбургский государственный аграрный
университет" (RU)*

Автор(ы): *с.м. на обороте*

Заявка № 2008146172

Приоритет изобретения 21 ноября 2008 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 20 сентября 2010 г.

Срок действия патента истекает 21 ноября 2028 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам*



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 399 538** (13) **C2**(51) МПК
B62D 37/04 (2006.01)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21), (22) Заявка: **2008146172/11**, 21.11.2008(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.11.2008(43) Дата публикации заявки: **27.05.2010**(45) Опубликовано: **20.09.2010** Бюл. № 26(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **SU 901137 A1**, 30.01.1982. **RU 25723 U1**, 20.10.2002. **RU 20027626 C1**, 27.01.1995. **JP 2004352215 A**, 16.12.2004. **US 5000284 A**, 19.03.1991.

Адрес для переписки:

460795, г.Оренбург, ул. Челюскинцев, 18, ОГАУ

(72) Автор(ы):

**Реймер Вадим Валерьевич (RU),
Асманкин Евгений Михайлович (RU),
Стеновский Вячеслав Сергеевич (RU),
Черкасов Андрей Анатольевич (RU),
Сорокин Алексей Александрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное
общеобразовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Оренбургский государственный аграрный
университет" (RU)****(54) СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ КОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к транспортному машиностроению, в частности к способу стабилизации положения транспортного средства. Способ стабилизации положения движущегося колесного транспортного средства на наклонной опорной поверхности заключается в регулировании нормальных нагрузок на ведущих колесах. Перемещение в автоматическом режиме расположенных в

передней и задней части дополнительных грузов происходит вдоль осей мостов относительно продольной плоскости для создания адекватных нормальных реакций на колесах пропорционально дестабилизирующим моментам. Достигается повышение эксплуатационной технологичности за счет повышения курсовой устойчивости, при этом транспортное средство вписывается в требуемый коридор движения. 6 ил.

RU 2 399 538 C2

RU 2 399 538 C2

Характеристика рельефа полей Оренбургской области

№ п/п	Зоны	Распределение площади полей по классам угла склона, %											
		Менее 1°		1 – 3°		3 – 7°		7 – 10°		Более 10°		Итого	
		Тыс. га	%	Тыс. га	%	Тыс. га	%	Тыс. га	%	Тыс. га	%	тыс. га	%
1	Северная	231,38	21,72	364,8	35,43	385,1	39,57	24,04	2,47	7,88	0,81	973,2	100
2	Западная	437,39	22,61	760,01	38,23	628,64	31,37	84,09	4,23	72,77	3,56	1988	100
3	Центральная	501,4	31,17	629,28	39,12	432,6	27,52	28,5	1,71	7,72	0,48	1608,6	100
4	Восточная	418,18	28,42	541,91	36,21	420,98	27,62	52,72	3,38	64,61	4,37	1524,2	100
	По области	1588,35	26,06	2296	37,68	1867,32	30,64	189,35	3,11	152,98	2,51	6094	100

Определение мощности сползания $N_{сп}$ в зависимости от угла склона α

Передние колеса: 11,2-20 Задние колеса: 15,5R38

$a := 0.93 \text{ м}$ $L := 2.45 \text{ м}$ $p_w := 0.1 \text{ МПа}$ $h := 0.9 \text{ м}$ $B := 1.9 \text{ м}$ $f := 0.09$

$G_{тр} := 39000 \text{ Н}$

$r_{ka} := 0.4 \text{ м}$

$r_{kb} := 0.785 \text{ м}$

$V_{A'} := 3 \text{ м/с}$ $V_{B'} := 3 \text{ м/с}$ $V_{A''} := 3 \text{ м/с}$ $V_{B''} := 3 \text{ м/с}$

$c_{za} := 41200 \text{ Н·м}$ $c_{zb} := 30760 \text{ Н·м}$

$k_{fa} := 8680 \frac{\text{Н·м}}{\text{рад}}$ $k_{fb} := 5820 \frac{\text{Н·м}}{\text{рад}}$

$G_{kmaxa} := 2800 \text{ Н}$

$G_{kmaxb} := 350 \text{ Н}$

$$Y_{A'}(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot G_{тр} \cdot \cos(\alpha) + G_{тр} \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{B} \cdot \frac{a}{L}$$

$$Y_{B'}(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot G_{тр} \cdot \cos(\alpha) + G_{тр} \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{B} \cdot \frac{L - a}{L}$$

$$Y_{A''}(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot G_{тр} \cdot \cos(\alpha) - G_{тр} \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{B} \cdot \frac{a}{L}$$

$$Y_{B''}(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot G_{тр} \cdot \cos(\alpha) - G_{тр} \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{B} \cdot \frac{L - a}{L}$$

$$c\gamma_{A'}(\alpha) := \frac{Y_{A'}(\alpha)}{G_{kmaxa}} \cdot \left[2.4 - 1.8 \cdot \frac{Y_{A'}(\alpha)}{G_{kmaxa}} + \left(0.4 \cdot \frac{Y_{A'}(\alpha)}{G_{kmaxa}} \right)^2 \right]$$

$$c\gamma_{B'}(\alpha) := \frac{Y_{B'}(\alpha)}{G_{kmaxb}} \cdot \left[\left(0.4 \cdot \frac{Y_{B'}(\alpha)}{G_{kmaxb}} \right)^2 + 2.4 - 1.8 \cdot \frac{Y_{B'}(\alpha)}{G_{kmaxb}} \right]$$

$$c\gamma_{A''}(\alpha) := \frac{Y_{A''}(\alpha)}{G_{kmaxa}} \cdot \left[\left(0.4 \cdot \frac{Y_{A''}(\alpha)}{G_{kmaxa}} \right)^2 + 2.4 - 1.8 \cdot \frac{Y_{A''}(\alpha)}{G_{kmaxa}} \right]$$

$$c\gamma_{B''}(\alpha) := \frac{Y_{B''}(\alpha)}{G_{kmaxb}} \cdot \left[\left(0.4 \cdot \frac{Y_{B''}(\alpha)}{G_{kmaxb}} \right)^2 + 2.4 - 1.8 \cdot \frac{Y_{B''}(\alpha)}{G_{kmaxb}} \right]$$

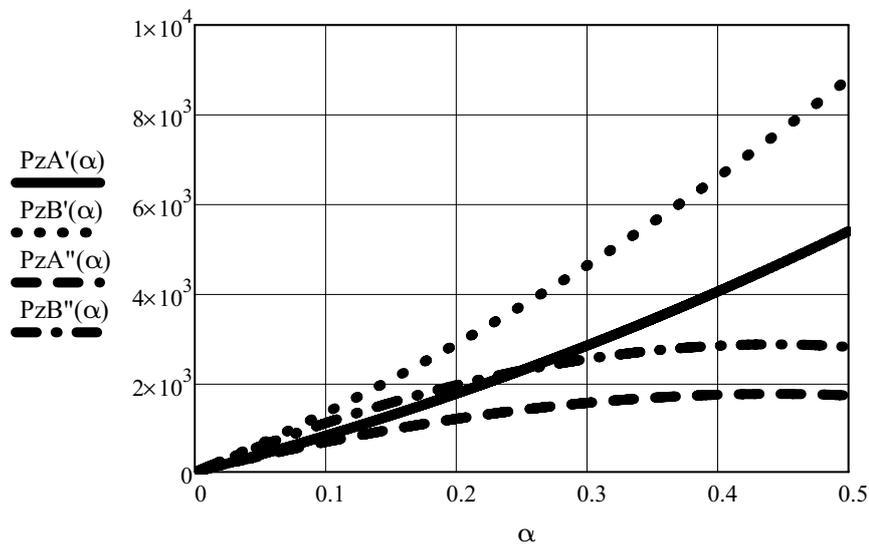
$$k_{свA'}(\alpha) := \frac{1}{c\gamma_{A'}(\alpha)} \quad k_{свA''}(\alpha) := \frac{1}{c\gamma_{A''}(\alpha)} \quad k_{свB'}(\alpha) := \frac{1}{c\gamma_{B'}(\alpha)} \quad k_{свB''}(\alpha) := \frac{1}{c\gamma_{B''}(\alpha)}$$

$$PzA'(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{гр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{L} + \frac{G_{гр} \cdot a \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{L}}{B} \cdot \tan(\alpha)$$

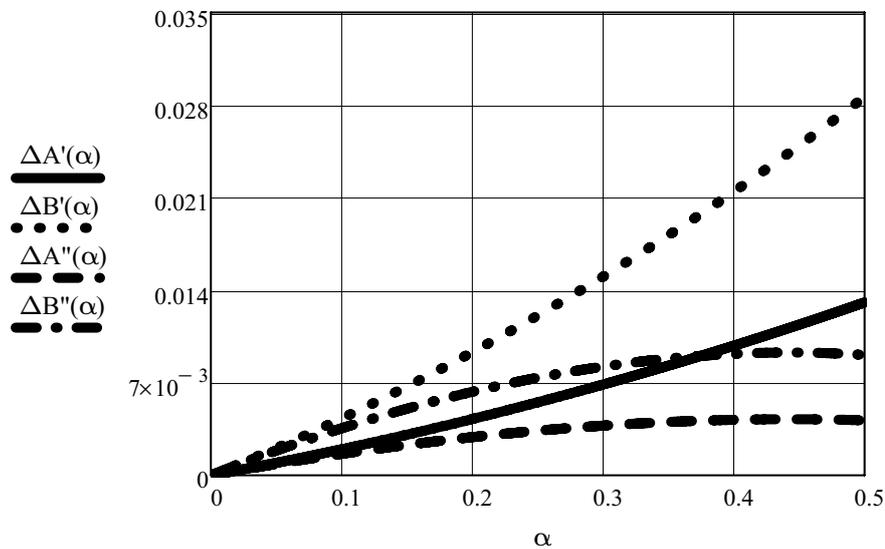
$$PzB'(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{гр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{L} + \frac{G_{гр} \cdot (L - a) \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{L}}{B} \cdot \tan(\alpha)$$

$$PzA''(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{гр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{L} - \frac{G_{гр} \cdot a \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{L}}{B} \cdot \tan(\alpha)$$

$$PzB''(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{гр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{L} - \frac{G_{гр} \cdot (L - a) \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{L}}{B} \cdot \tan(\alpha)$$

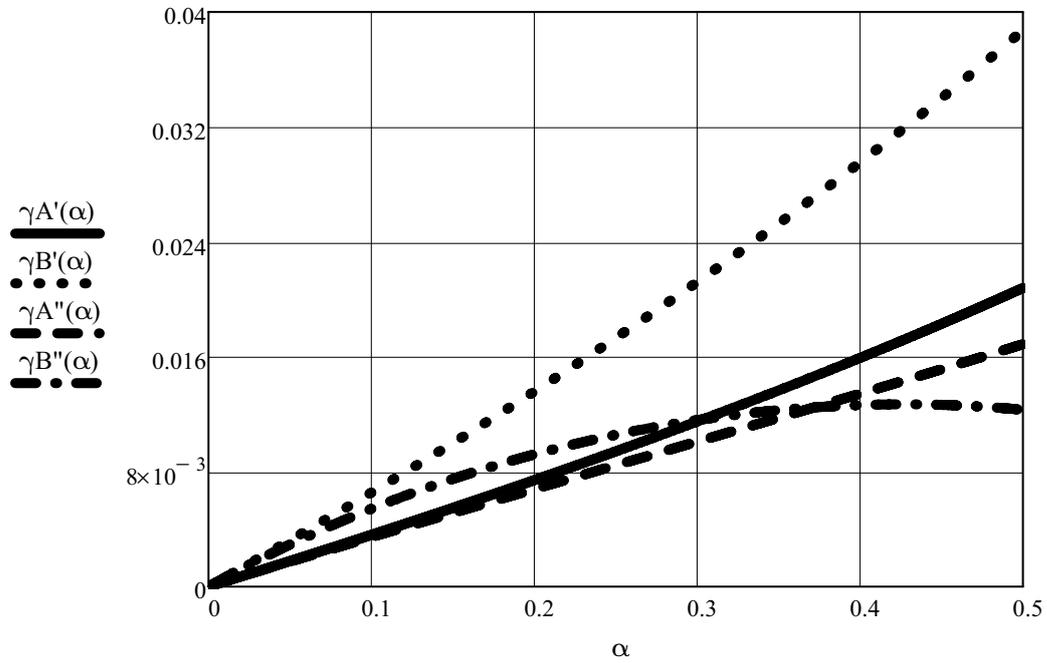


$$\Delta A'(\alpha) := \frac{PzA'(\alpha)}{cza} \quad \Delta A''(\alpha) := \frac{PzA''(\alpha)}{cza} \quad \Delta B'(\alpha) := \frac{PzB'(\alpha)}{czb} \quad \Delta B''(\alpha) := \frac{PzB''(\alpha)}{czb}$$



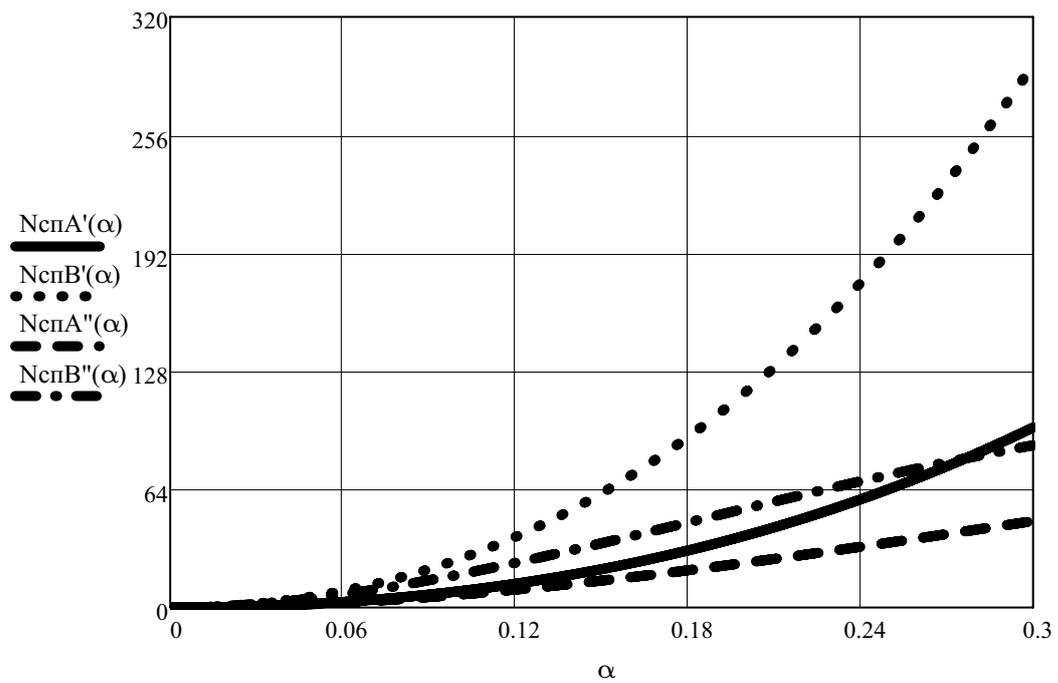
$$\gamma A'(\alpha) := k_{свA'}(\alpha) \cdot \Delta A'(\alpha) \quad \gamma A''(\alpha) := k_{свA''}(\alpha) \cdot \Delta A''(\alpha)$$

$$\gamma B'(\alpha) := k_{свB'}(\alpha) \cdot \Delta B'(\alpha) \quad \gamma B''(\alpha) := k_{свB''}(\alpha) \cdot \Delta B''(\alpha)$$



$$N_{спA'}(\alpha) := V A' \cdot \gamma A'(\alpha) \cdot Pz A'(\alpha) \quad N_{спA''}(\alpha) := V A'' \cdot \gamma A''(\alpha) \cdot Pz A''(\alpha)$$

$$N_{спB'}(\alpha) := V B' \cdot \gamma B'(\alpha) \cdot Pz B'(\alpha) \quad N_{спB''}(\alpha) := V B'' \cdot \gamma B''(\alpha) \cdot Pz B''(\alpha)$$



Определение мощности стабилизации $N_{ст}$ в зависимости от угла склона α и угла наклона грунтозацепа $\beta=0,61$ рад

$G_{тр} := 39000$ Н	вес трактора
$a := 0.93$ м	расстояние от центра тяжести до оси заднего моста
$L := 2.45$ м	колесная база трактора
$B := 1.9$ м	колея трактора
$h := 0.9$ м	высота центра тяжести трактора
$\beta := 0.61$ рад	угол наклона грунтозацепа

нижнее по склону переднее колесо	верхнее по склону переднее колесо	нижнее по склону заднее колесо	верхнее по склону заднее колесо
$r_{kA'} := 0.5$ м	$r_{kA''} := 0.5$ м	$r_{kB'} := 0.7$ м	$r_{kB''} := 0.7$ м
$t_{A'} := 0.1$ м	$t_{A''} := 0.1$ м	$t_{B'} := 0.15$ м	$t_{B''} := 0.15$ м
$h_{rA'} := 0.04$ м	$h_{rA''} := 0.04$ м	$h_{rB'} := 0.06$ м	$h_{rB''} := 0.06$ м
$U_{A'} := 0.27$ м	$U_{A''} := 0.27$ м	$U_{B'} := 0.41$ м	$U_{B''} := 0.41$ м
$\omega_{kA'} := 7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{kA''} := 7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{kB'} := 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{kB''} := 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$
$\delta_{A'} := 0.2$	$\delta_{A''} := 0.18$	$\delta_{B'} := 0.19$	$\delta_{B''} := 0.21$
$P_{kA'} := 1040$ Н	$P_{kA''} := 1037$ Н	$P_{kB'} := 4431$ Н	$P_{kB''} := 5035$ Н

$$G_{kA'}(\alpha) := \frac{G_{тр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} + \frac{h \cdot G_{тр} \cdot a \cdot \sin(\alpha)}{B \cdot L}$$

$$G_{kB'}(\alpha) := \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} + \frac{h \cdot G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \sin(\alpha)}{L \cdot B}$$

$$G_{kB''}(\alpha) := \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} - \frac{h \cdot G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \sin(\alpha)}{L \cdot B}$$

$$G_{kA''}(\alpha) := \frac{G_{тр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} - \frac{h \cdot G_{тр} \cdot a \cdot \sin(\alpha)}{B \cdot L}$$

$$P_{k\delta A'} := P_{kA'} \cdot (\cos(\beta) \cdot \sin(\beta))$$

$$P_{k\delta B'} := P_{kB'} \cdot (\cos(\beta) \cdot \sin(\beta))$$

$$P_{k\delta A''} := P_{kA''} \cdot (\cos(\beta) \cdot \sin(\beta))$$

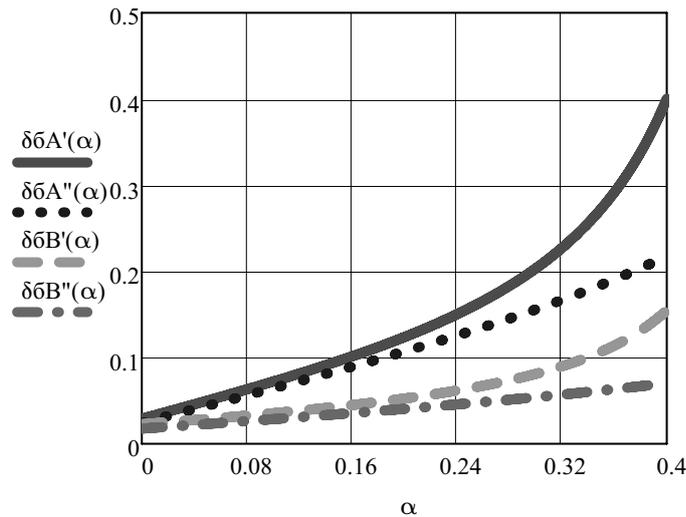
$$P_{k\delta B''} := P_{kB''} \cdot (\cos(\beta) \cdot \sin(\beta))$$

$$\delta\delta_{A'}(\alpha) := \frac{P_{k\delta A'} + \left[\frac{G_{тр} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{тр} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \cdot \left[1 - \text{dn}1 \cdot \frac{\left[P_{k\delta A'} + \left[\frac{G_{тр} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha) \right]^3}{\left[\frac{G_{тр} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right]^3} \right]$$

$$\delta\delta A''(\alpha) := \frac{Cv1 \cdot \frac{Pk\delta A'' + \left[\frac{G_{Tp} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)}}{\left[1 - dv1 \cdot \frac{Pk\delta A'' + \left[\frac{G_{Tp} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3}$$

$$\delta\delta B'(\alpha) := \frac{Cn2 \cdot \frac{Pk\delta B' + \left[\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)}}{\left[1 - dn2 \cdot \frac{Pk\delta B' + \left[\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3}$$

$$\delta\delta B''(\alpha) := \frac{Cv2 \cdot \frac{Pk\delta B'' + \left[\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)}}{\left[1 - dv2 \cdot \frac{Pk\delta A'' + \left[\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3}$$



$$V_{TTPA'}(\alpha) := \frac{rkA' \cdot \omega kA' \cdot (1 - \delta A')}{\tan(\beta)}$$

$$V_{TTPA''}(\alpha) := \frac{rkA'' \cdot \omega kA'' \cdot (1 - \delta A'')}{\tan(\beta)}$$

$$V_{TTPB'}(\alpha) := \frac{rkB' \cdot \omega kB' \cdot (1 - \delta B')}{\tan(\beta)}$$

$$V_{TTPB''}(\alpha) := \frac{rkB'' \cdot \omega kB'' \cdot (1 - \delta B'')}{\tan(\beta)}$$

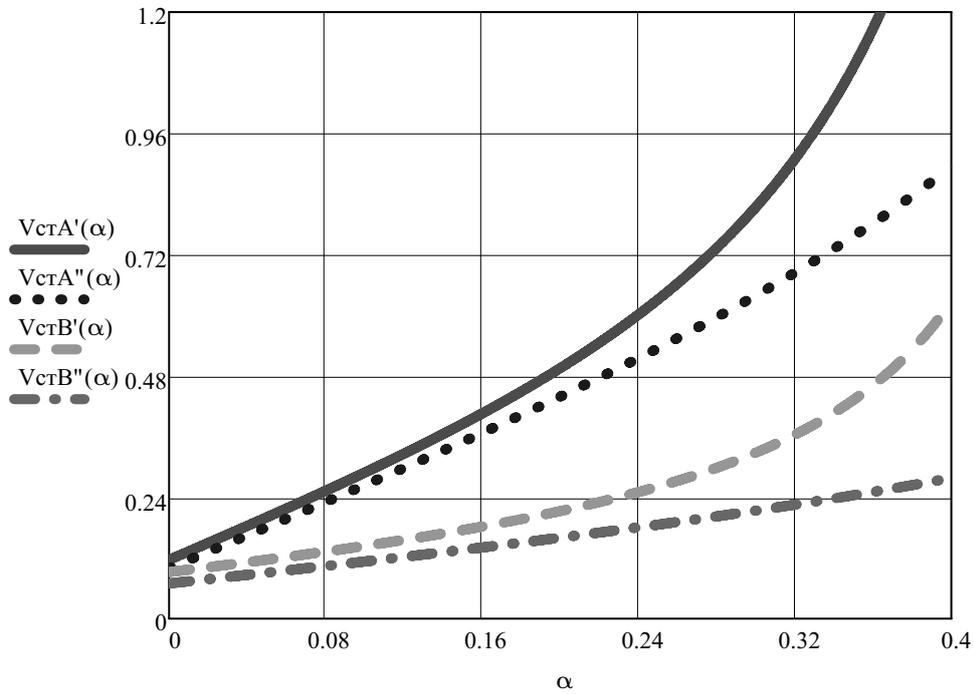
Продолжение Приложения 3

$$V_{\sigma A'}(\alpha) := V_{\text{гпр}A'}(\alpha) \cdot \delta\delta A'(\alpha)$$

$$V_{\sigma A''}(\alpha) := V_{\text{гпр}A''}(\alpha) \cdot \delta\delta A''(\alpha)$$

$$V_{\sigma B'}(\alpha) := V_{\text{гпр}B'}(\alpha) \cdot \delta\delta B'(\alpha)$$

$$V_{\sigma B''}(\alpha) := V_{\text{гпр}B''}(\alpha) \cdot \delta\delta B''(\alpha)$$

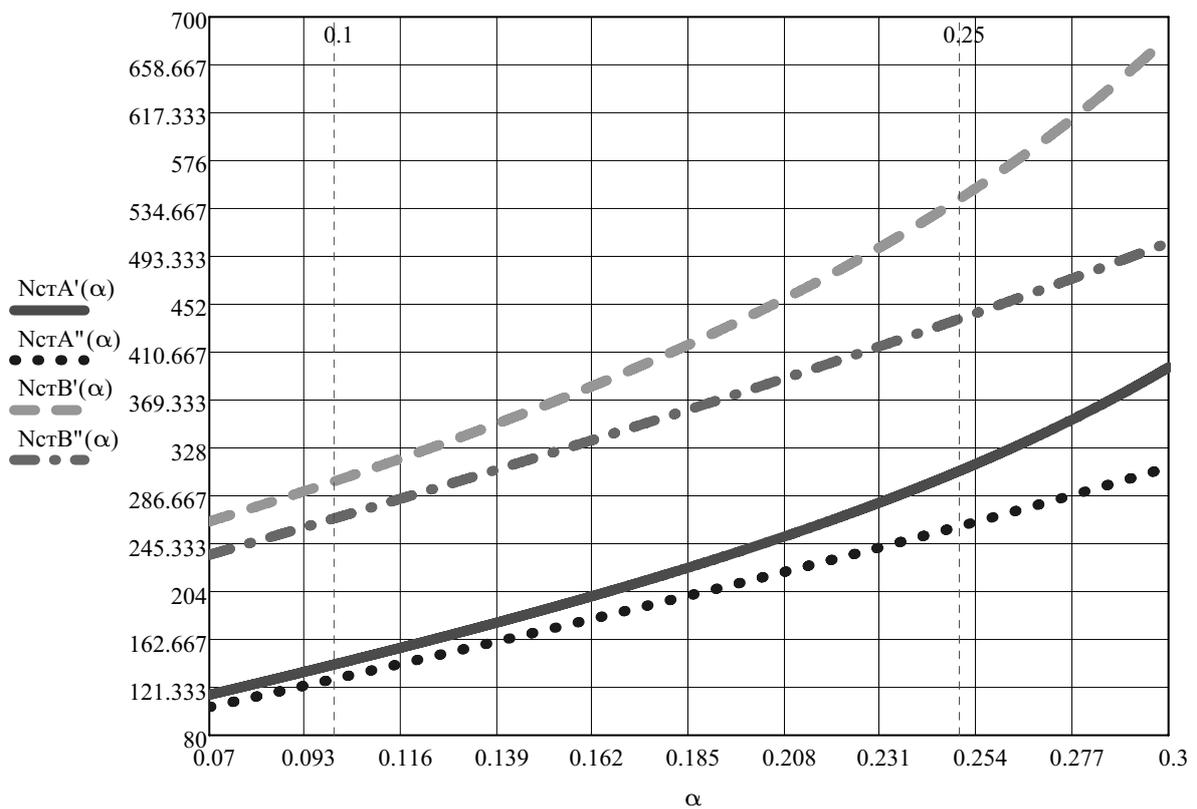


$$N_{\sigma A'}(\alpha) := V_{\sigma A'}(\alpha) \cdot Pk\delta A'$$

$$N_{\sigma A''}(\alpha) := V_{\sigma A''}(\alpha) \cdot Pk\delta A''$$

$$N_{\sigma B'}(\alpha) := V_{\sigma B'}(\alpha) \cdot Pk\delta B'$$

$$N_{\sigma B''}(\alpha) := V_{\sigma B''}(\alpha) \cdot Pk\delta B''$$



Определение касательной силы тяги приходящейся на каждое колесо при работе агрегата на склоне

$G_{тр} := 39000$ Н	вес трактора
$a := 0.93$ м	расстояние от центра тяжести до оси заднего моста
$L := 2.45$ м	колесная база трактора
$B := 1.9$ м	колея трактора
$h := 0.9$ м	высота центра тяжести трактора
$\alpha := 0.17$ рад	угол наклона опорной поверхности
$f_{ск} := 0.72$	коэффициент трения скольжения
$\tau_{ср} := 17000$ Н/м ²	напряжение среза
$k_{\tau} := 0.052$ м	коэффициент деформации
$f_{п} = 0.866$	коэффициент трения покоя
$f_{пр} := 2.55 \cdot \left(\frac{f_{п} - f_{ск}}{f_{ск}} \right)^{0.825} = 0.683$	приведенный коэффициент трения

нижнее по склону переднее колесо	верхнее по склону переднее колесо	нижнее по склону заднее колесо	верхнее по склону заднее колесо
$r_{kA'} := 0.5$ м	$r_{kA''} := 0.5$ м	$r_{kB'} := 0.7$ м	$r_{kB''} := 0.7$ м
$t_{A'} := 0.1$ м	$t_{A''} := 0.1$ м	$t_{B'} := 0.15$ м	$t_{B''} := 0.15$ м
$h_{rA'} := 0.04$ м	$h_{rA''} := 0.04$ м	$h_{rB'} := 0.06$ м	$h_{rB''} := 0.06$ м
$U_{A'} := 0.27$ м	$U_{A''} := 0.27$ м	$U_{B'} := 0.41$ м	$U_{B''} := 0.41$ м
$\omega_{kA'} := 7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{kA''} := 7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{kB'} := 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\omega_{kB''} := 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$
$\delta_{A'} := 0.2$	$\delta_{A''} := 0.2$	$\delta_{B'} := 0.2$	$\delta_{B''} := 0.2$

Вес приходящийся на каждое колесо:

$$G_{kA'} := \frac{G_{тр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} + \frac{h \cdot G_{тр} \cdot a \cdot \sin(\alpha)}{B \cdot L} = 8.482 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$G_{kB'} := \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} + \frac{h \cdot G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \sin(\alpha)}{L \cdot B} = 1.386 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$G_{kA''} := \frac{G_{тр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} - \frac{h \cdot G_{тр} \cdot a \cdot \sin(\alpha)}{B \cdot L} = 6.109 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$G_{kB''} := \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} - \frac{h \cdot G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \sin(\alpha)}{L \cdot B} = 9.985 \times 10^3 \text{ Н}$$

Касательная сила тяги на каждом колесе:

$$P_{kA'} := \frac{f_{ск} \cdot k_{\tau} \cdot G_{kA'}}{\delta_{A'} \cdot U_{A'}} \cdot \left[\ln \left(\tanh \left(\frac{\delta_{A'} \cdot U_{A'}}{k_{\tau}} \right) \right) - f_{пп} \cdot \left(\frac{1}{\tanh \left(\frac{\delta_{A'} \cdot U_{A'}}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2 \cdot \tau_{ср} \cdot \frac{hr_{A'} \cdot U_{A'}}{t_{A'}} = 1.04 \times 10^3$$

$$P_{kB'} := \frac{f_{ск} \cdot k_{\tau} \cdot G_{kB'}}{\delta_{B'} \cdot U_{B'}} \cdot \left[\ln \left(\tanh \left(\frac{\delta_{B'} \cdot U_{B'}}{k_{\tau}} \right) \right) - f_{пп} \cdot \left(\frac{1}{\tanh \left(\frac{\delta_{B'} \cdot U_{B'}}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2 \cdot \tau_{ср} \cdot \frac{hr_{B'} \cdot U_{B'}}{t_{B'}} = 4.65 \times 10^3$$

$$P_{kA''} := \frac{f_{ск} \cdot k_{\tau} \cdot G_{kA''}}{\delta_{A''} \cdot U_{A''}} \cdot \left[\ln \left(\tanh \left(\frac{\delta_{A''} \cdot U_{A''}}{k_{\tau}} \right) \right) - f_{пп} \cdot \left(\frac{1}{\tanh \left(\frac{\delta_{A''} \cdot U_{A''}}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2 \cdot \tau_{ср} \cdot \frac{hr_{A''} \cdot U_{A''}}{t_{A''}} = 1.776 \times 10^3$$

$$P_{kB''} := \frac{f_{ск} \cdot k_{\tau} \cdot G_{kB''}}{\delta_{B''} \cdot U_{B''}} \cdot \left[\ln \left(\tanh \left(\frac{\delta_{B''} \cdot U_{B''}}{k_{\tau}} \right) \right) - f_{пп} \cdot \left(\frac{1}{\tanh \left(\frac{\delta_{B''} \cdot U_{B''}}{k_{\tau}} \right)} - 1 \right) \right] + 2 \cdot \tau_{ср} \cdot \frac{hr_{B''} \cdot U_{B''}}{t_{B''}} = 4.909 \times 10^3$$

$$P_{kA'} = 1.04 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$P_{kA''} = 1.776 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$P_{kB'} = 4.65 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$P_{kB''} = 4.909 \times 10^3 \text{ Н}$$

Определение мощности стабилизации N_{CT} в зависимости от угла склона α и угла наклона грунтозацепа β

$$f_{ск} := 0.3$$

$$f_{пр} := 0.4$$

$$\tau_{ср} := 1700 \text{ Н/м}^2$$

$$k_{\tau} := 0.052 \text{ м}$$

$$G_{тр} := 39000 \text{ Н}$$

$$a := 0.93 \text{ м}$$

$$L := 2.45 \text{ м}$$

$$B := 1.9 \text{ м}$$

$$h := 0.9 \text{ м}$$

нижнее по склону
переднее колесо

нижнее по склону
заднее колесо

верхнее по склону
переднее колесо

верхнее по склону
заднее колесо

$$rkA' := 0.5 \text{ м}$$

$$rkB' := 0.7 \text{ м}$$

$$rkA'' := 0.5 \text{ м}$$

$$rkB'' := 0.7 \text{ м}$$

$$tA' := 0.1 \text{ м}$$

$$tB' := 0.15 \text{ м}$$

$$tA'' := 0.1 \text{ м}$$

$$tB'' := 0.15 \text{ м}$$

$$hrA' := 0.04 \text{ м}$$

$$hrB' := 0.06 \text{ м}$$

$$hrA'' := 0.04 \text{ м}$$

$$hrB'' := 0.06 \text{ м}$$

$$UA' := 0.17 \text{ м}$$

$$UB' := 0.31 \text{ м}$$

$$UA'' := 0.17 \text{ м}$$

$$UB'' := 0.31 \text{ м}$$

$$\omega_{kA'} := 7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\omega_{kB'} := 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\omega_{kA''} := 7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\omega_{kB''} := 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$PkA'(\alpha) := 1040 \text{ Н}$$

$$PkB'(\alpha) := 4431 \text{ Н}$$

$$PkA''(\alpha) := 1037 \text{ Н}$$

$$PkB''(\alpha) := 5035 \text{ Н}$$

$$GkA'(\alpha) := \frac{G_{тр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} + \frac{h \cdot G_{тр} \cdot a \cdot \sin(\alpha)}{B \cdot L}$$

$$GkB'(\alpha) := \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} + \frac{h \cdot G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \sin(\alpha)}{L \cdot B}$$

$$GkA''(\alpha) := \frac{G_{тр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} - \frac{h \cdot G_{тр} \cdot a \cdot \sin(\alpha)}{B \cdot L}$$

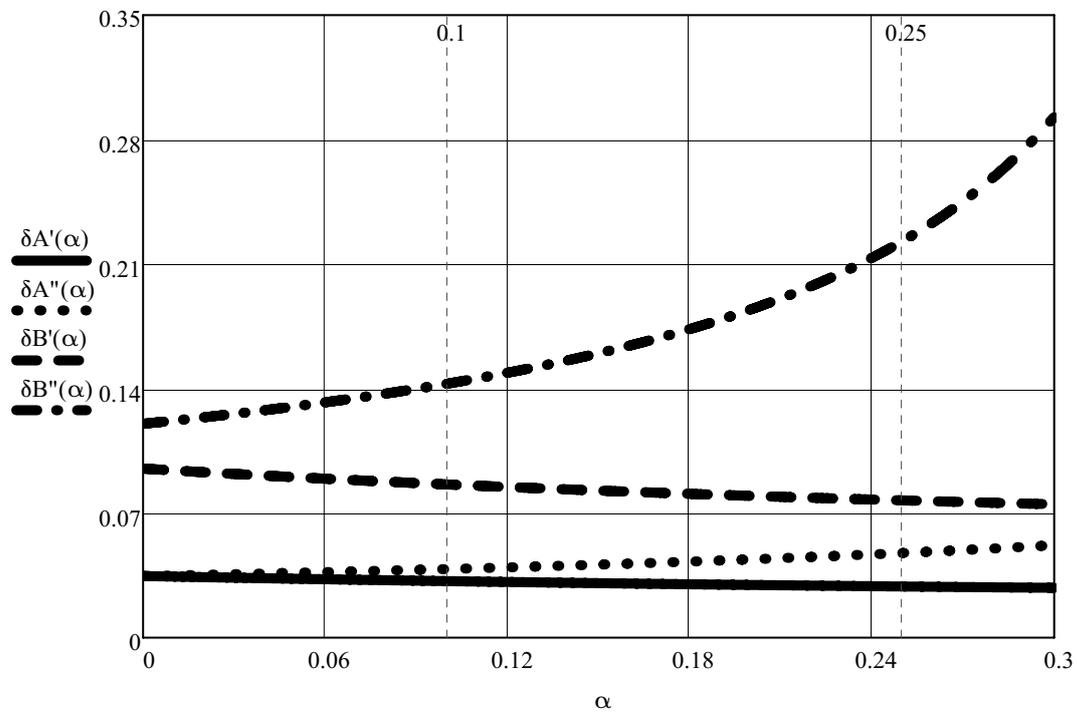
$$GkB''(\alpha) := \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot L} - \frac{h \cdot G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \sin(\alpha)}{L \cdot B}$$

$$\delta A'(\alpha) := \frac{C_n \cdot \frac{PkA'(\alpha)}{\left[\frac{G_{тр} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right]}}{\left[1 - d_n \cdot \frac{PkA'(\alpha)}{\left[\frac{G_{тр} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right]} \right]^3}$$

$$\delta A''(\alpha) := \frac{Cv \cdot \frac{PkA''(\alpha)}{\frac{G_{TP} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)}}{\left[1 - dv \cdot \left[\frac{PkA''(\alpha)}{\frac{G_{TP} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3 \right]}$$

$$\delta B'(\alpha) := \frac{Cn \cdot \frac{PkB'(\alpha)}{\frac{G_{TP} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)}}{\left[1 - dn \cdot \left[\frac{PkB'(\alpha)}{\frac{G_{TP} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3 \right]}$$

$$\delta B''(\alpha) := \frac{Cv \cdot \frac{PkB''(\alpha)}{\frac{G_{TP} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)}}{\left[1 - dv \cdot \left[\frac{PkB''(\alpha)}{\frac{G_{TP} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3 \right]}$$

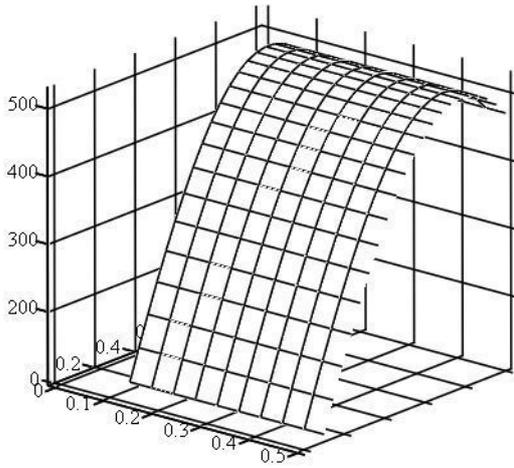


$$Pk\delta A'(\alpha, \beta) := PkA'(\alpha) \cdot (\cos(\beta) \cdot \sin(\beta))$$

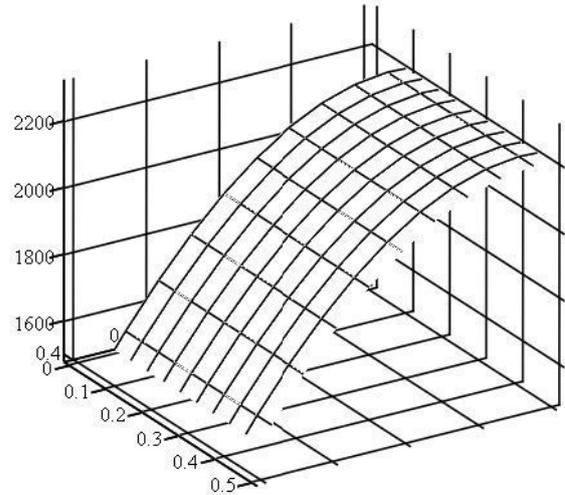
$$Pk\delta B'(\alpha, \beta) := PkB'(\alpha) \cdot (\cos(\beta) \cdot \sin(\beta))$$

$$Pk\delta A''(\alpha, \beta) := PkA''(\alpha) \cdot (\cos(\beta) \cdot \sin(\beta))$$

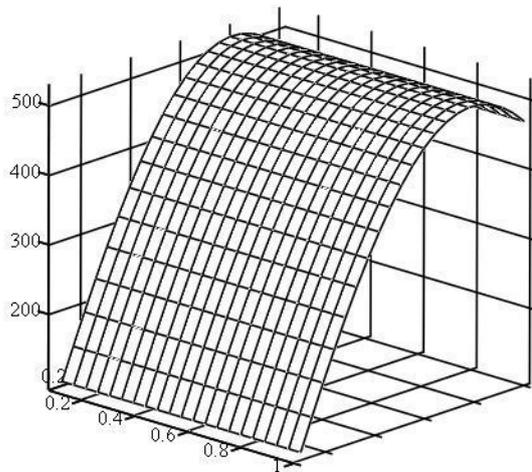
$$Pk\delta B''(\alpha, \beta) := PkB''(\alpha) \cdot (\cos(\beta) \cdot \sin(\beta))$$



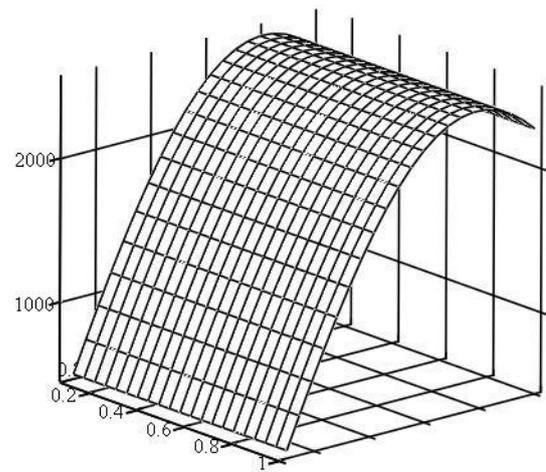
$Pk\delta A'$



$Pk\delta B'$



$Pk\delta A''$



$Pk\delta B''$

$$Pk\delta A'(\alpha, \beta) + \left[\frac{G_{TP} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)$$

$$C1n \cdot \frac{\frac{G_{TP} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)}{\left[\frac{G_{TP} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}$$

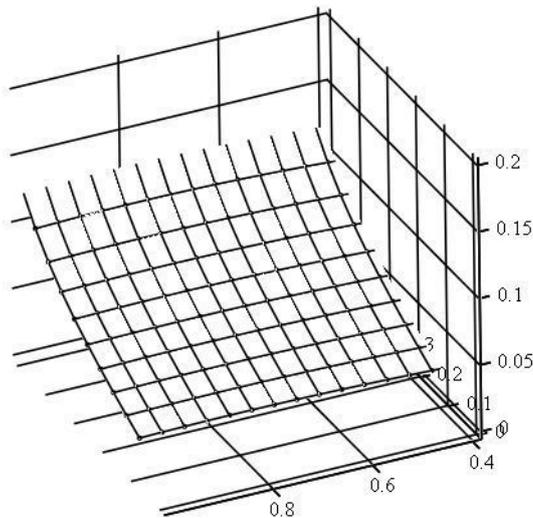
$$\delta\delta A'(\alpha, \beta) := \left[1 - d1n \cdot \left[\frac{Pk\delta A'(\alpha, \beta) + \left[\frac{G_{TP} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\left[\frac{G_{TP} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right]} \right]^3 \right]$$

Продолжение Приложения К

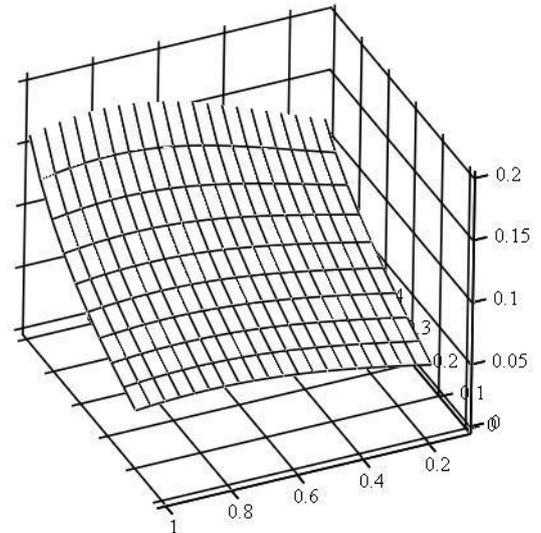
$$\delta\delta A''(\alpha, \beta) := \frac{C1v \cdot \left[\frac{Pk\delta A''(\alpha, \beta) + \left[\frac{G_{Tp} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3}{1 - d1v \cdot \left[\frac{Pk\delta A''(\alpha, \beta) + \left[\frac{G_{Tp} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3}$$

$$\delta\delta B'(\alpha, \beta) := \frac{C1n \cdot \left[\frac{Pk\delta B'(\alpha, \beta) + \left[\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3}{1 - d1n \cdot \left[\frac{Pk\delta B'(\alpha, \beta) + \left[\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3}$$

$$\delta\delta B''(\alpha, \beta) := \frac{C1v \cdot \left[\frac{Pk\delta B''(\alpha, \beta) + \left[\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3}{1 - d1v \cdot \left[\frac{Pk\delta B''(\alpha, \beta) + \left[\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right) \right] \cdot \tan(\alpha)}{\frac{G_{Tp} \cdot (L - a)}{L} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \cos(\alpha) - \frac{1}{B} \cdot h \cdot \sin(\alpha) \right)} \right]^3}$$

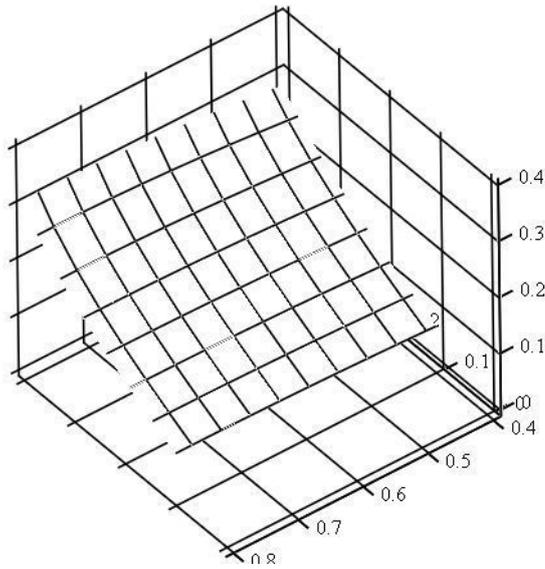


$\delta\delta A'$

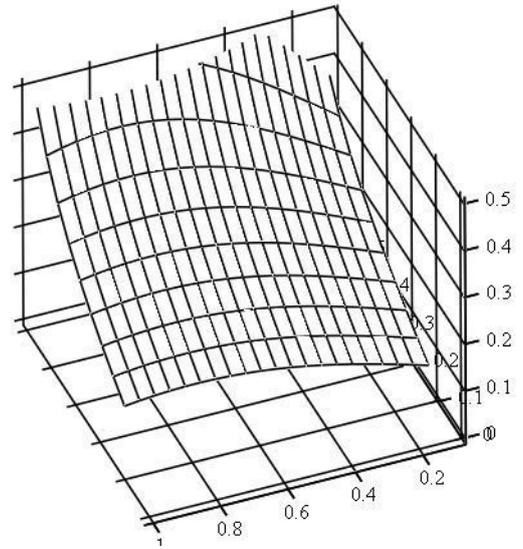


$\delta\delta B'$

Продолжение Приложения К



$\delta\delta A''$



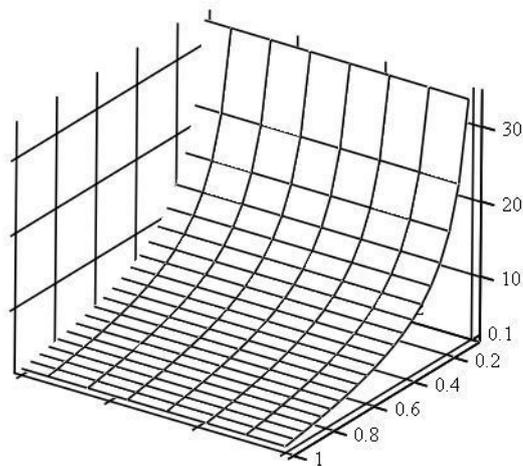
$\delta\delta B''$

$$V_{\text{тпр}A'}(\alpha, \beta) := \frac{rkA' \cdot \omega kA' \cdot (1 - \delta A'(\alpha))}{\tan(\beta)}$$

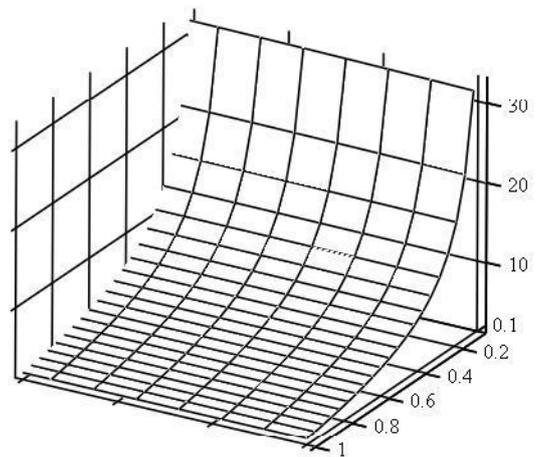
$$V_{\text{тпр}B'}(\alpha, \beta) := \frac{rkB' \cdot \omega kB' \cdot (1 - \delta B'(\alpha))}{\tan(\beta)}$$

$$V_{\text{тпр}A''}(\alpha, \beta) := \frac{rkA'' \cdot \omega kA'' \cdot (1 - \delta A''(\alpha))}{\tan(\beta)}$$

$$V_{\text{тпр}B''}(\alpha, \beta) := \frac{rkB'' \cdot \omega kB'' \cdot (1 - \delta B''(\alpha))}{\tan(\beta)}$$

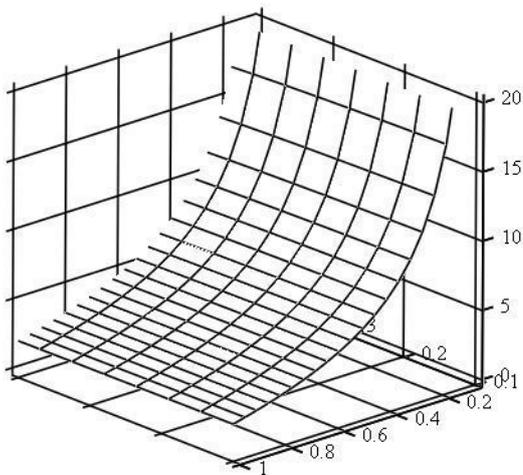


$V_{\text{тпр}A'}$

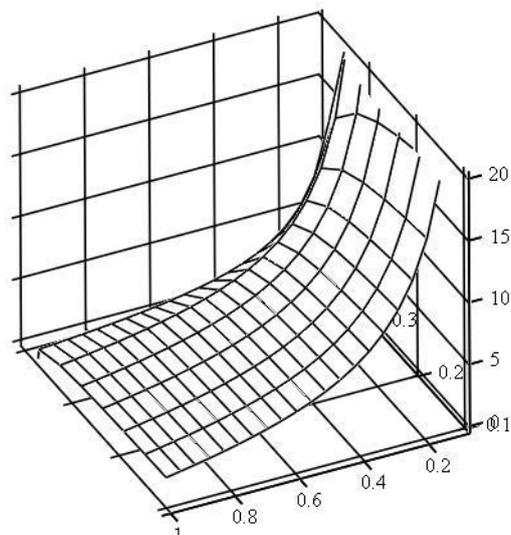


$V_{\text{тпр}B'}$

Продолжение Приложения К



$V_{npA''}$



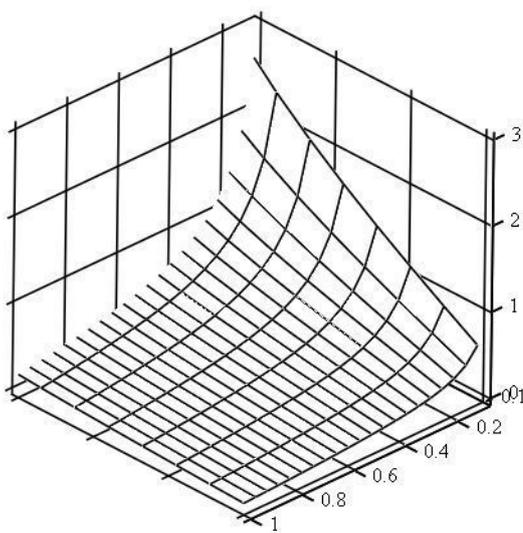
$V_{npB''}$

$$V_{стA'}(\alpha, \beta) := V_{npA'}(\alpha, \beta) \cdot \delta\delta A'(\alpha, \beta)$$

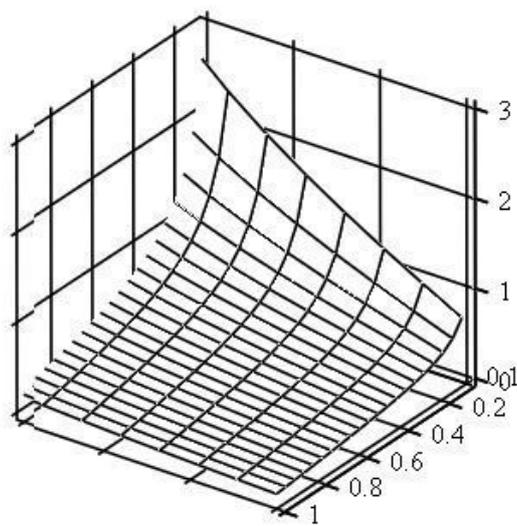
$$V_{стB'}(\alpha, \beta) := V_{npB'}(\alpha, \beta) \cdot \delta\delta B'(\alpha, \beta)$$

$$V_{стA''}(\alpha, \beta) := V_{npA''}(\alpha, \beta) \cdot \delta\delta A''(\alpha, \beta)$$

$$V_{стB''}(\alpha, \beta) := V_{npB''}(\alpha, \beta) \cdot \delta\delta B''(\alpha, \beta)$$

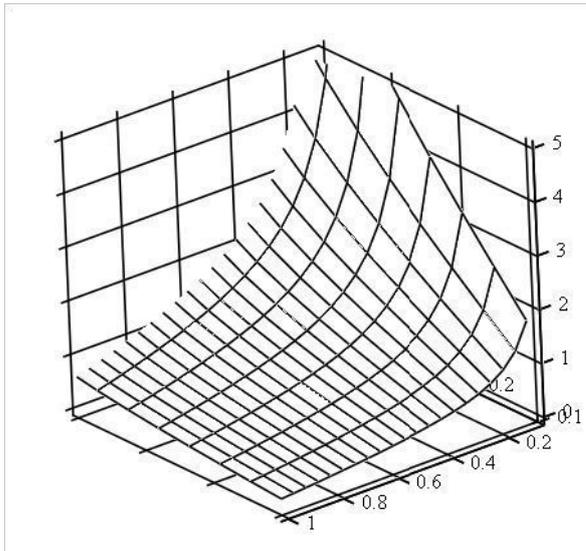


$V_{стA'}$

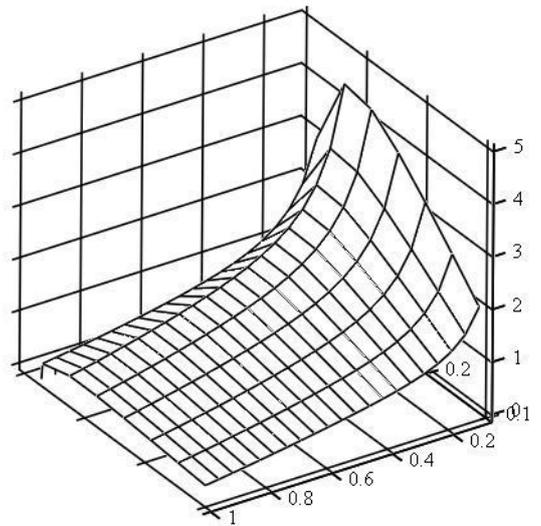


$V_{стB'}$

Продолжение Приложения К



VctA''



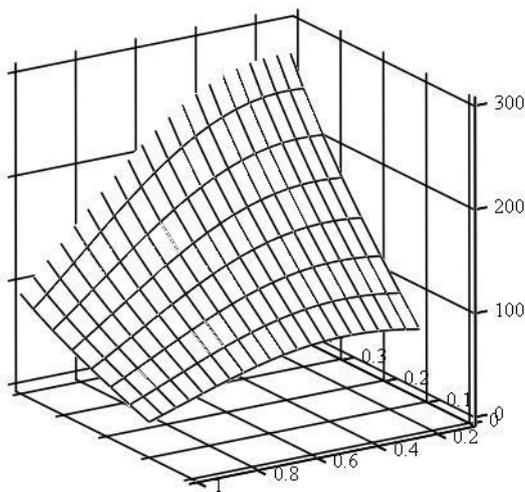
VctB''

$$NctA'(\alpha, \beta) := VctA'(\alpha, \beta) \cdot Pk\delta A'(\alpha, \beta)$$

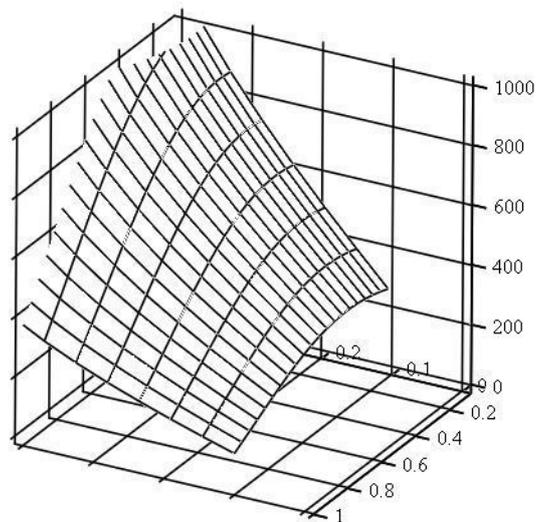
$$NctB'(\alpha, \beta) := VctA'(\alpha, \beta) \cdot Pk\delta B'(\alpha, \beta)$$

$$NctA''(\alpha, \beta) := VctA''(\alpha, \beta) \cdot Pk\delta A''(\alpha, \beta)$$

$$NctB''(\alpha, \beta) := VctB''(\alpha, \beta) \cdot Pk\delta B''(\alpha, \beta)$$

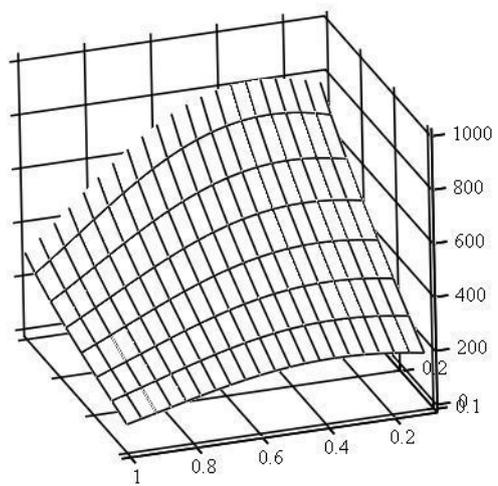


NctA'

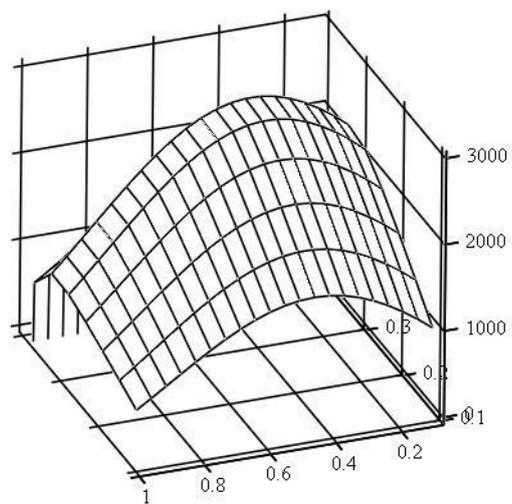


NctB'

Продолжение Приложения К



NcrA"



NcrB"

Определение коэффициента стабилизации k

Угол склона $\alpha := 0.1$ рад

Мощность сползания:

$$N_{спA'}(0.1) = 8.736 \quad N_{спA''}(0.1) = 6.907$$

$$N_{спB'}(0.1) = 25.962 \quad N_{спB''}(0.1) = 17.73$$

Мощность стабилизации:

$$N_{стA'1} := 141.132 \quad N_{стA''1} := 128.948$$

$$N_{стB'1} := 299.206 \quad N_{стB''1} := 267.311$$

Коэффициент стабилизации:

$$k_{A1} := \frac{N_{стA'1} - N_{стA''1}}{N_{спA'}(0.1) + N_{спA''}(0.1) + N_{стA''1}} = 0.084$$

$$k_{B1} := \frac{N_{стB'1} - N_{стB''1}}{N_{спB'}(0.1) + N_{спB''}(0.1) + N_{стB''1}} = 0.103$$

Угол склона $\alpha := 0.25$ рад

Мощность сползания:

$$N_{спA'}(0.25) = 64.222 \quad N_{спA''}(0.25) = 35.144$$

$$N_{спB'}(0.25) = 192.965 \quad N_{спB''}(0.25) = 71.904$$

Мощность стабилизации:

$$N_{стA'2} := 308.403 \quad N_{стA''2} := 260.502$$

$$N_{стB'2} := 543.344 \quad N_{стB''2} := 439.544$$

Коэффициент стабилизации:

$$k_{A2} := \frac{N_{стA'2} - N_{стA''2}}{N_{спA'}(0.25) + N_{спA''}(0.25) + N_{стA''2}} = 0.133$$

$$k_{B2} := \frac{N_{стB'2} - N_{стB''2}}{N_{спB'}(0.25) + N_{спB''}(0.25) + N_{стB''2}} = 0.147$$

Определение интенсивности износа резины серийной и модернизированной шины при работе на склоне

$B := 1.9 \text{ м}$	$L := 2.45 \text{ м}$	$K_{yA} := 27.5 \frac{\text{Н}}{\text{рад}}$
$G_{тр} := 39000 \text{ Н}$	$r_{ka} := 0.4 \text{ м}$	
$a := 0.93 \text{ м}$	$r_{kb} := 0.785 \text{ м}$	$K_{yB} := 32.7 \frac{\text{Н}}{\text{рад}}$
$h := 0.9 \text{ м}$		

серийная шина: модернизированная шина:

$K_{и} := 0.4$	$K_{и} := 0.4$
$P_{срс} := 35000$	$P_{срм} := 32000$
$\mu_{тр} := 1$	$\mu_{тр} := 1$
$L_{кс} := 0.35$	$L_{км} := 0.41$

$$PzA'(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{тр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{L} + \frac{G_{тр} \cdot a \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{L}}{B} \cdot \tan(\alpha)$$

$$PzB'(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{L} + \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{L}}{B} \cdot \tan(\alpha)$$

$$PzA''(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{тр} \cdot a \cdot \cos(\alpha)}{L} - \frac{G_{тр} \cdot a \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{L}}{B} \cdot \tan(\alpha)$$

$$PzB''(\alpha) := \frac{\frac{B}{2} \cdot \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot \cos(\alpha)}{L} - \frac{G_{тр} \cdot (L - a) \cdot h \cdot \sin(\alpha)}{L}}{B} \cdot \tan(\alpha)$$

интенсивность изнашивания серийной шины:

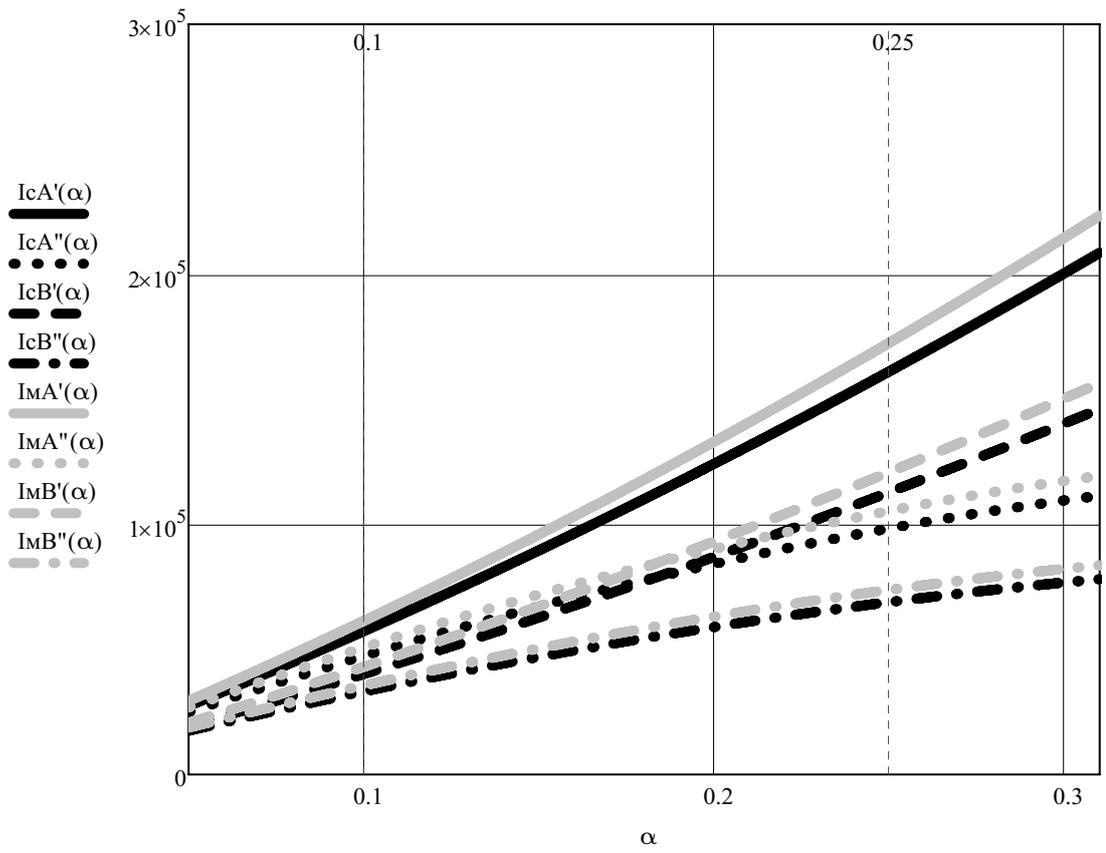
$$I_{сA}'(\alpha) := \frac{K_{и} \cdot P_{срс} \cdot \mu_{тр} \cdot L_{кс} \cdot PzA'(\alpha)}{2 \cdot \pi \cdot r_{ka} \cdot K_{yA}} \quad I_{сA}''(\alpha) := \frac{K_{и} \cdot P_{срс} \cdot \mu_{тр} \cdot L_{кс} \cdot PzA''(\alpha)}{2 \cdot \pi \cdot r_{ka} \cdot K_{yA}}$$

$$I_{сB}'(\alpha) := \frac{K_{и} \cdot P_{срс} \cdot \mu_{тр} \cdot L_{кс} \cdot PzB'(\alpha)}{2 \cdot \pi \cdot r_{kb} \cdot K_{yB}} \quad I_{сB}''(\alpha) := \frac{K_{и} \cdot P_{срс} \cdot \mu_{тр} \cdot L_{кс} \cdot PzB''(\alpha)}{2 \cdot \pi \cdot r_{kb} \cdot K_{yB}}$$

интенсивность изнашивания модернизированной шины:

$$I_{мA}'(\alpha) := \frac{K_{и} \cdot P_{срм} \cdot \mu_{тр} \cdot L_{км} \cdot PzA'(\alpha)}{2 \cdot \pi \cdot r_{ka} \cdot K_{yA}} \quad I_{мA}''(\alpha) := \frac{K_{и} \cdot P_{срм} \cdot \mu_{тр} \cdot L_{км} \cdot PzA''(\alpha)}{2 \cdot \pi \cdot r_{ka} \cdot K_{yA}}$$

$$I_{мB}'(\alpha) := \frac{K_{и} \cdot P_{срм} \cdot \mu_{тр} \cdot L_{км} \cdot PzB'(\alpha)}{2 \cdot \pi \cdot r_{kb} \cdot K_{yB}} \quad I_{мB}''(\alpha) := \frac{K_{и} \cdot P_{срм} \cdot \mu_{тр} \cdot L_{км} \cdot PzB''(\alpha)}{2 \cdot \pi \cdot r_{kb} \cdot K_{yB}}$$





К определению времени, угла и длительности подруливания (покадровая развертка с интервалом 1 с)

Опыт №1.1

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
стерня колосовых	5-7	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V , скорость движения, м/с	$R_{кр}$, крюковое усилие, Н	y_1'	y_1''	y_1'''	y_1
1	2,5	9500	8,64	9,45	8,91	9,00
2	3	9500	9,12	9,98	9,41	9,50
3	3,5	9500	9,70	10,61	10,00	10,10
4	2,5	11750	10,27	11,24	10,59	10,70
5	3	11750	10,85	11,87	11,19	11,30
6	3,5	11750	11,42	12,50	11,78	11,90
7	2,5	14000	12,19	13,34	12,57	12,70
8	3	14000	13,25	14,49	13,66	13,80
9	3,5	14000	14,50	15,86	14,95	15,10

Опыт №2.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	7-10	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y_1'	y_1''	y_1'''	y_1
1	2,5	9500	9,50	10,40	9,80	9,90
2	3	9500	10,03	10,97	10,35	10,45
3	3,5	9500	10,67	11,67	11,00	11,11
4	2,5	11750	11,30	12,36	11,65	11,77
5	3	11750	11,93	13,05	12,31	12,43
6	3,5	11750	12,57	13,74	12,96	13,09
7	2,5	14000	13,41	14,67	13,83	13,97
8	3	14000	14,57	15,94	15,03	15,18
9	3,5	14000	15,95	17,44	16,44	16,61

Опыт №3.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	10-12	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y_1'	y_1''	y_1'''	y_1
1	2,5	9500	10,37	11,34	10,69	10,80
2	3	9500	10,94	11,97	11,29	11,40
3	3,5	9500	11,64	12,73	12,00	12,12
4	2,5	11750	12,33	13,48	12,71	12,84
5	3	11750	13,02	14,24	13,42	13,56
6	3,5	11750	13,71	14,99	14,14	14,28
7	2,5	14000	14,63	16,00	15,09	15,24
8	3	14000	15,90	17,39	16,39	16,56
9	3,5	14000	17,40	19,03	17,94	18,12

Опыт №4.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	12-14	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y_1'	y_1''	y_1'''	y_1
1	2,5	9500	12,96	14,18	13,37	13,50
2	3	9500	13,68	14,96	14,11	14,25
3	3,5	9500	14,54	15,91	15,00	15,15
4	2,5	11750	15,41	16,85	15,89	16,05
5	3	11750	16,27	17,80	16,78	16,95
6	3,5	11750	17,14	18,74	17,67	17,85
7	2,5	14000	18,29	20,00	18,86	19,05
8	3	14000	19,87	21,74	20,49	20,70
9	3,5	14000	21,74	23,78	22,42	22,65

Опыт №1.2

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
стерня колосовых	5-7	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V , скорость движения, м/с	$R_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	9,94	10,87	10,25	10,35
2	3	9500	10,49	11,47	10,82	10,93
3	3,5	9500	11,15	12,20	11,50	11,62
4	2,5	11750	11,81	12,92	12,18	12,31
5	3	11750	12,48	13,64	12,87	13,00
6	3,5	11750	13,14	14,37	13,55	13,69
7	2,5	14000	14,02	15,34	14,46	14,61
8	3	14000	15,24	16,66	15,71	15,87
9	3,5	14000	16,67	18,23	17,19	17,37

Опыт №2.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	7-10	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	10,93	11,95	11,27	11,39
2	3	9500	11,54	12,62	11,90	12,02
3	3,5	9500	12,27	13,42	12,65	12,78
4	2,5	11750	12,99	14,21	13,40	13,54
5	3	11750	13,72	15,01	14,15	14,29
6	3,5	11750	14,45	15,81	14,90	15,05
7	2,5	14000	15,42	16,87	15,90	16,07
8	3	14000	16,76	18,33	17,28	17,46
9	3,5	14000	18,34	20,06	18,91	19,10

Опыт №3.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	10-12	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	11,92	13,04	12,30	12,42
2	3	9500	12,59	13,77	12,98	13,11
3	3,5	9500	13,38	14,63	13,80	13,94
4	2,5	11750	14,18	15,50	14,62	14,77
5	3	11750	14,97	16,37	15,44	15,59
6	3,5	11750	15,77	17,24	16,26	16,42
7	2,5	14000	16,82	18,40	17,35	17,53
8	3	14000	18,28	20,00	18,85	19,04
9	3,5	14000	20,00	21,88	20,63	20,84

Опыт №4.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	12-14	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	14,90	16,30	15,37	15,53
2	3	9500	15,73	17,21	16,22	16,39
3	3,5	9500	16,73	18,29	17,25	17,42
4	2,5	11750	17,72	19,38	18,27	18,46
5	3	11750	18,71	20,47	19,30	19,49
6	3,5	11750	19,71	21,55	20,32	20,53
7	2,5	14000	21,03	23,00	21,69	21,91
8	3	14000	22,85	25,00	23,57	23,81
9	3,5	14000	25,01	27,35	25,79	26,05

Опыт №1.3

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
стерня колосовых	5-7	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V , скорость движения, м/с	$R_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_i	y''_i	y'''_i	y_i
1	2,5	9500	12,92	14,13	13,32	13,46
2	3	9500	13,63	14,91	14,06	14,20
3	3,5	9500	14,50	15,85	14,95	15,10
4	2,5	11750	15,36	16,80	15,84	16,00
5	3	11750	16,22	17,74	16,72	16,89
6	3,5	11750	17,08	18,68	17,61	17,79
7	2,5	14000	18,23	19,94	18,80	18,99
8	3	14000	19,81	21,66	20,42	20,63
9	3,5	14000	21,67	23,70	22,35	22,57

Опыт №2.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	7-10	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_i	y''_i	y'''_i	y_i
1	2,5	9500	14,21	15,54	14,65	14,80
2	3	9500	15,00	16,40	15,47	15,62
3	3,5	9500	15,95	17,44	16,44	16,61
4	2,5	11750	16,89	18,48	17,42	17,60
5	3	11750	17,84	19,51	18,40	18,58
6	3,5	11750	18,79	20,55	19,37	19,57
7	2,5	14000	20,05	21,93	20,68	20,89
8	3	14000	21,79	23,83	22,47	22,69
9	3,5	14000	23,84	26,07	24,58	24,83

Опыт №3.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	10-12	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_i	y''_i	y'''_i	y_i
1	2,5	9500	15,50	16,95	15,98	16,15
2	3	9500	16,36	17,90	16,87	17,04
3	3,5	9500	17,39	19,03	17,94	18,12
4	2,5	11750	18,43	20,16	19,00	19,20
5	3	11750	19,46	21,29	20,07	20,27
6	3,5	11750	20,49	22,42	21,14	21,35
7	2,5	14000	21,87	23,92	22,56	22,78
8	3	14000	23,77	26,00	24,51	24,76
9	3,5	14000	26,01	28,44	26,82	27,09

Опыт №4.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	12-14	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_i	y''_i	y'''_i	y_i
1	2,5	9500	19,38	21,19	19,98	20,18
2	3	9500	20,45	22,37	21,09	21,30
3	3,5	9500	21,74	23,78	22,42	22,65
4	2,5	11750	23,03	25,19	23,75	23,99
5	3	11750	24,33	26,61	25,09	25,34
6	3,5	11750	25,62	28,02	26,42	26,69
7	2,5	14000	27,34	29,90	28,19	28,48
8	3	14000	29,71	32,49	30,64	30,95
9	3,5	14000	32,51	35,55	33,52	33,86

Опыт №5.1

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
посев	5-7	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V , скорость движения, м/с	$P_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	14,40	15,75	14,85	15,00
2	3	9500	15,65	17,12	16,14	16,30
3	3,5	9500	16,99	18,59	17,52	17,70
4	2,5	11750	18,34	20,06	18,91	19,10
5	3	11750	21,60	23,63	22,28	22,50
6	3,5	11750	24,77	27,09	25,54	25,80
7	2,5	14000	31,01	33,92	31,98	32,30
8	3	14000	47,42	51,87	48,91	49,40
9	3,5	14000	48,20	52,72	49,71	50,21

Опыт №6.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	7-10	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	15,84	17,33	16,34	16,50
2	3	9500	17,21	18,83	17,75	17,93
3	3,5	9500	18,69	20,44	19,28	19,47
4	2,5	11750	20,17	22,06	20,80	21,01
5	3	11750	23,76	25,99	24,50	24,75
6	3,5	11750	27,24	29,80	28,10	28,38
7	2,5	14000	34,11	37,31	35,17	35,53
8	3	14000	52,17	57,06	53,80	54,34
9	3,5	14000	53,02	57,99	54,68	55,23

Опыт №7.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	10-12	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	17,28	18,90	17,82	18,00
2	3	9500	18,78	20,54	19,36	19,56
3	3,5	9500	20,39	22,30	21,03	21,24
4	2,5	11750	22,00	24,07	22,69	22,92
5	3	11750	25,92	28,35	26,73	27,00
6	3,5	11750	29,72	32,51	30,65	30,96
7	2,5	14000	37,21	40,70	38,37	38,76
8	3	14000	56,91	62,24	58,69	59,28
9	3,5	14000	57,84	63,26	59,65	60,25

Опыт №8.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	12-14	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	20,16	22,05	20,79	21,00
2	3	9500	21,91	23,96	22,59	22,82
3	3,5	9500	23,79	26,02	24,53	24,78
4	2,5	11750	25,67	28,08	26,47	26,74
5	3	11750	30,24	33,08	31,19	31,50
6	3,5	11750	34,68	37,93	35,76	36,12
7	2,5	14000	43,41	47,48	44,77	45,22
8	3	14000	66,39	72,62	68,47	69,16
9	3,5	14000	67,48	73,81	69,59	70,29

Опыт №5.2

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
посев	5-7	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V , скорость движения, м/с	$R_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	16,56	18,11	17,08	17,25
2	3	9500	18,00	19,68	18,56	18,75
3	3,5	9500	19,54	21,37	20,15	20,36
4	2,5	11750	21,09	23,06	21,75	21,97
5	3	11750	24,84	27,17	25,62	25,88
6	3,5	11750	28,48	31,15	29,37	29,67
7	2,5	14000	35,66	39,00	36,77	37,15
8	3	14000	54,54	59,65	56,24	56,81
9	3,5	14000	55,43	60,63	57,16	57,74

Опыт №6.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	7-10	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	18,22	19,92	18,79	18,98
2	3	9500	19,79	21,65	20,41	20,62
3	3,5	9500	21,49	23,51	22,17	22,39
4	2,5	11750	23,20	25,37	23,92	24,16
5	3	11750	27,32	29,89	28,18	28,46
6	3,5	11750	31,33	34,27	32,31	32,64
7	2,5	14000	39,23	42,90	40,45	40,86
8	3	14000	59,99	65,62	61,87	62,49
9	3,5	14000	60,98	66,69	62,88	63,52

Опыт №7.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	10-12	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	19,87	21,74	20,49	20,70
2	3	9500	21,59	23,62	22,27	22,49
3	3,5	9500	23,45	25,65	24,18	24,43
4	2,5	11750	25,30	27,68	26,09	26,36
5	3	11750	29,81	32,60	30,74	31,05
6	3,5	11750	34,18	37,38	35,25	35,60
7	2,5	14000	42,79	46,80	44,13	44,57
8	3	14000	65,45	71,58	67,49	68,17
9	3,5	14000	66,52	72,75	68,60	69,29

Опыт №8.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	12-14	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	22,78	24,92	23,49	23,73
2	3	9500	24,76	27,08	25,53	25,79
3	3,5	9500	26,88	29,40	27,72	28,00
4	2,5	11750	29,01	31,73	29,91	30,22
5	3	11750	34,17	37,37	35,24	35,60
6	3,5	11750	39,18	42,86	40,41	40,82
7	2,5	14000	49,05	53,65	50,59	51,10
8	3	14000	75,02	82,06	77,37	78,15
9	3,5	14000	76,25	83,40	78,64	79,43

Опыт №5.3

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
посев	5-7	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V , скорость движения, м/с	$R_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	21,53	23,55	22,20	22,43
2	3	9500	23,39	25,59	24,12	24,37
3	3,5	9500	25,40	27,78	26,20	26,46
4	2,5	11750	27,41	29,98	28,27	28,55
5	3	11750	32,29	35,32	33,30	33,64
6	3,5	11750	37,03	40,50	38,19	38,57
7	2,5	14000	46,36	50,70	47,81	48,29
8	3	14000	70,90	77,55	73,11	73,85
9	3,5	14000	72,06	78,82	74,31	75,06

Опыт №6.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	7-10	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	23,68	25,90	24,42	24,67
2	3	9500	25,73	28,15	26,54	26,81
3	3,5	9500	27,94	30,56	28,82	29,11
4	2,5	11750	30,15	32,98	31,10	31,41
5	3	11750	35,52	38,85	36,63	37,00
6	3,5	11750	40,73	44,55	42,00	42,43
7	2,5	14000	50,99	55,77	52,59	53,12
8	3	14000	77,99	85,30	80,43	81,24
9	3,5	14000	79,27	86,70	81,74	82,57

Опыт №7.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	10-12	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	25,83	28,26	26,64	26,91
2	3	9500	28,07	30,70	28,95	29,24
3	3,5	9500	30,48	33,34	31,44	31,75
4	2,5	11750	32,89	35,98	33,92	34,27
5	3	11750	38,75	42,38	39,96	40,37
6	3,5	11750	44,43	48,60	45,82	46,29
7	2,5	14000	55,63	60,84	57,37	57,95
8	3	14000	85,08	93,05	87,74	88,62
9	3,5	14000	86,47	94,58	89,18	90,08

Опыт №8.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	12-14	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса δ			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	25,74	28,16	26,55	26,81
2	3	9500	27,97	30,60	28,85	29,14
3	3,5	9500	30,38	33,22	31,33	31,64
4	2,5	11750	32,78	35,85	33,80	34,14
5	3	11750	38,61	42,23	39,82	40,22
6	3,5	11750	44,28	48,43	45,66	46,12
7	2,5	14000	55,43	60,63	57,16	57,74
8	3	14000	84,78	92,73	87,43	88,31
9	3,5	14000	86,17	94,25	88,86	89,76

Опыт №1.1

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
стерня колосовых	5-7	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V , скорость движения, м/с	$P_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,05	0,05	0,05	0,05
2	3	9500	0,06	0,06	0,06	0,06
3	3,5	9500	0,06	0,07	0,06	0,07
4	2,5	11750	0,07	0,07	0,07	0,07
5	3	11750	0,08	0,08	0,08	0,08
6	3,5	11750	0,09	0,10	0,09	0,10
7	2,5	14000	0,12	0,13	0,12	0,12
8	3	14000	0,13	0,15	0,14	0,14
9	3,5	14000	0,16	0,18	0,17	0,17

Опыт №2.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	7-10	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,07	0,07	0,07	0,07
2	3	9500	0,08	0,09	0,08	0,08
3	3,5	9500	0,09	0,10	0,09	0,09
4	2,5	11750	0,09	0,10	0,10	0,10
5	3	11750	0,11	0,12	0,11	0,11
6	3,5	11750	0,13	0,14	0,13	0,13
7	2,5	14000	0,16	0,18	0,17	0,17
8	3	14000	0,19	0,21	0,19	0,20
9	3,5	14000	0,23	0,25	0,24	0,24

Опыт №3.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	10-12	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,07	0,08	0,08	0,08
2	3	9500	0,09	0,10	0,09	0,09
3	3,5	9500	0,10	0,11	0,10	0,10
4	2,5	11750	0,10	0,11	0,11	0,11
5	3	11750	0,12	0,13	0,12	0,12
6	3,5	11750	0,14	0,15	0,14	0,15
7	2,5	14000	0,18	0,19	0,18	0,18
8	3	14000	0,21	0,23	0,21	0,22
9	3,5	14000	0,25	0,27	0,26	0,26

Опыт №4.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	12-14	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,08	0,09	0,08	0,08
2	3	9500	0,10	0,11	0,10	0,10
3	3,5	9500	0,11	0,12	0,11	0,11
4	2,5	11750	0,11	0,12	0,12	0,12
5	3	11750	0,13	0,14	0,13	0,14
6	3,5	11750	0,15	0,17	0,16	0,16
7	2,5	14000	0,20	0,21	0,20	0,20
8	3	14000	0,23	0,25	0,23	0,24
9	3,5	14000	0,28	0,30	0,29	0,29

Опыт №1.2

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
стерня колосовых	5-7	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V , скорость движения, м/с	$P_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,04	0,04	0,04	0,04
2	3	9500	0,04	0,04	0,04	0,04
3	3,5	9500	0,04	0,05	0,04	0,05
4	2,5	11750	0,04	0,04	0,04	0,04
5	3	11750	0,04	0,04	0,04	0,04
6	3,5	11750	0,05	0,05	0,05	0,05
7	2,5	14000	0,08	0,08	0,08	0,08
8	3	14000	0,11	0,12	0,11	0,11
9	3,5	14000	0,14	0,16	0,15	0,15

Опыт №2.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	7-10	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,04	0,05	0,04	0,04
2	3	9500	0,04	0,05	0,04	0,04
3	3,5	9500	0,05	0,05	0,05	0,05
4	2,5	11750	0,04	0,05	0,04	0,04
5	3	11750	0,04	0,05	0,04	0,04
6	3,5	11750	0,05	0,06	0,05	0,06
7	2,5	14000	0,08	0,09	0,09	0,09
8	3	14000	0,12	0,13	0,12	0,12
9	3,5	14000	0,16	0,17	0,16	0,17

Опыт №3.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	10-12	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,05	0,05	0,05	0,05
2	3	9500	0,05	0,05	0,05	0,05
3	3,5	9500	0,05	0,06	0,05	0,05
4	2,5	11750	0,05	0,05	0,05	0,05
5	3	11750	0,05	0,05	0,05	0,05
6	3,5	11750	0,06	0,06	0,06	0,06
7	2,5	14000	0,09	0,10	0,10	0,10
8	3	14000	0,13	0,14	0,13	0,13
9	3,5	14000	0,17	0,19	0,18	0,18

Опыт №4.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	12-14	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,05	0,06	0,05	0,05
2	3	9500	0,05	0,06	0,05	0,05
3	3,5	9500	0,06	0,06	0,06	0,06
4	2,5	11750	0,05	0,06	0,05	0,05
5	3	11750	0,05	0,06	0,05	0,05
6	3,5	11750	0,06	0,07	0,07	0,07
7	2,5	14000	0,10	0,11	0,11	0,11
8	3	14000	0,14	0,15	0,14	0,15
9	3,5	14000	0,19	0,21	0,20	0,20

Опыт №1.3

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
стерня колосовых	5-7	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V , скорость движения, м/с	$P_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,06	0,06	0,06	0,06
2	3	9500	0,05	0,05	0,05	0,05
3	3,5	9500	0,04	0,04	0,04	0,04
4	2,5	11750	0,05	0,05	0,05	0,05
5	3	11750	0,04	0,04	0,04	0,04
6	3,5	11750	0,05	0,05	0,05	0,05
7	2,5	14000	0,11	0,12	0,11	0,11
8	3	14000	0,13	0,15	0,14	0,14
9	3,5	14000	0,15	0,17	0,16	0,16

Опыт №2.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	7-10	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,07	0,07	0,07	0,07
2	3	9500	0,06	0,06	0,06	0,06
3	3,5	9500	0,04	0,05	0,05	0,05
4	2,5	11750	0,06	0,06	0,06	0,06
5	3	11750	0,04	0,05	0,05	0,05
6	3,5	11750	0,06	0,06	0,06	0,06
7	2,5	14000	0,12	0,13	0,13	0,13
8	3	14000	0,15	0,17	0,16	0,16
9	3,5	14000	0,18	0,19	0,18	0,18

Опыт №3.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	10-12	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,08	0,08	0,08	0,08
2	3	9500	0,06	0,07	0,07	0,07
3	3,5	9500	0,05	0,06	0,05	0,05
4	2,5	11750	0,06	0,07	0,07	0,07
5	3	11750	0,05	0,06	0,05	0,05
6	3,5	11750	0,06	0,07	0,07	0,07
7	2,5	14000	0,14	0,15	0,14	0,15
8	3	14000	0,18	0,19	0,18	0,19
9	3,5	14000	0,20	0,22	0,21	0,21

Опыт №4.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	12-14	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,08	0,09	0,09	0,09
2	3	9500	0,07	0,08	0,07	0,07
3	3,5	9500	0,06	0,06	0,06	0,06
4	2,5	11750	0,07	0,08	0,07	0,07
5	3	11750	0,06	0,06	0,06	0,06
6	3,5	11750	0,07	0,08	0,07	0,07
7	2,5	14000	0,15	0,17	0,16	0,16
8	3	14000	0,20	0,21	0,20	0,20
9	3,5	14000	0,22	0,24	0,23	0,23

Опыт №5.1

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
посев	5-7	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V , скорость движения, м/с	$R_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,07	0,07	0,07	0,07
2	3	9500	0,07	0,07	0,07	0,07
3	3,5	9500	0,07	0,08	0,07	0,08
4	2,5	11750	0,08	0,08	0,08	0,08
5	3	11750	0,08	0,08	0,08	0,08
6	3,5	11750	0,09	0,09	0,09	0,09
7	2,5	14000	0,09	0,10	0,09	0,10
8	3	14000	0,10	0,11	0,10	0,10
9	3,5	14000	0,18	0,20	0,19	0,19

Опыт №6.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	7-10	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,10	0,11	0,10	0,11
2	3	9500	0,10	0,11	0,10	0,11
3	3,5	9500	0,11	0,12	0,11	0,11
4	2,5	11750	0,12	0,13	0,12	0,12
5	3	11750	0,12	0,13	0,12	0,12
6	3,5	11750	0,13	0,14	0,13	0,14
7	2,5	14000	0,14	0,15	0,14	0,14
8	3	14000	0,14	0,16	0,15	0,15
9	3,5	14000	0,27	0,30	0,28	0,29

Опыт №7.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	10-12	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,11	0,12	0,11	0,12
2	3	9500	0,11	0,12	0,11	0,12
3	3,5	9500	0,12	0,13	0,12	0,12
4	2,5	11750	0,13	0,14	0,13	0,13
5	3	11750	0,13	0,14	0,13	0,13
6	3,5	11750	0,14	0,16	0,15	0,15
7	2,5	14000	0,15	0,16	0,16	0,16
8	3	14000	0,16	0,17	0,16	0,17
9	3,5	14000	0,30	0,33	0,31	0,31

Опыт №8.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	12-14	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,12	0,13	0,13	0,13
2	3	9500	0,12	0,13	0,13	0,13
3	3,5	9500	0,13	0,14	0,13	0,14
4	2,5	11750	0,14	0,15	0,14	0,15
5	3	11750	0,14	0,15	0,14	0,15
6	3,5	11750	0,16	0,17	0,16	0,16
7	2,5	14000	0,17	0,18	0,17	0,17
8	3	14000	0,17	0,19	0,18	0,18
9	3,5	14000	0,33	0,36	0,34	0,34

Опыт №5.2

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
посев	5-7	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса ДКД			
	V , скорость движения, м/с	$R_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,07	0,07	0,07	0,07
2	3	9500	0,05	0,05	0,05	0,05
3	3,5	9500	0,03	0,04	0,03	0,04
4	2,5	11750	0,04	0,04	0,04	0,04
5	3	11750	0,04	0,05	0,04	0,05
6	3,5	11750	0,06	0,06	0,06	0,06
7	2,5	14000	0,10	0,11	0,10	0,10
8	3	14000	0,12	0,14	0,13	0,13
9	3,5	14000	0,14	0,16	0,15	0,15

Опыт №6.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	7-10	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса ДКД			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,10	0,11	0,10	0,11
2	3	9500	0,07	0,08	0,07	0,08
3	3,5	9500	0,05	0,06	0,05	0,05
4	2,5	11750	0,06	0,06	0,06	0,06
5	3	11750	0,06	0,07	0,07	0,07
6	3,5	11750	0,09	0,09	0,09	0,09
7	2,5	14000	0,14	0,16	0,15	0,15
8	3	14000	0,19	0,20	0,19	0,20
9	3,5	14000	0,22	0,24	0,22	0,23

Опыт №7.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	10-12	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса ДКД			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,11	0,12	0,11	0,12
2	3	9500	0,08	0,09	0,08	0,08
3	3,5	9500	0,06	0,06	0,06	0,06
4	2,5	11750	0,06	0,07	0,07	0,07
5	3	11750	0,07	0,08	0,07	0,07
6	3,5	11750	0,10	0,10	0,10	0,10
7	2,5	14000	0,16	0,17	0,16	0,17
8	3	14000	0,21	0,23	0,21	0,21
9	3,5	14000	0,24	0,26	0,25	0,25

Опыт №8.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	12-14	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса ДКД			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,13	0,15	0,14	0,14
2	3	9500	0,10	0,10	0,10	0,10
3	3,5	9500	0,07	0,07	0,07	0,07
4	2,5	11750	0,08	0,08	0,08	0,08
5	3	11750	0,09	0,09	0,09	0,09
6	3,5	11750	0,11	0,12	0,12	0,12
7	2,5	14000	0,19	0,21	0,20	0,20
8	3	14000	0,25	0,27	0,25	0,26
9	3,5	14000	0,29	0,31	0,29	0,30

Опыт №5.3

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
посев	5-7	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V , скорость движения, м/с	$R_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,06	0,06	0,06	0,06
2	3	9500	0,05	0,05	0,05	0,05
3	3,5	9500	0,04	0,04	0,04	0,04
4	2,5	11750	0,05	0,05	0,05	0,05
5	3	11750	0,04	0,04	0,04	0,04
6	3,5	11750	0,05	0,05	0,05	0,05
7	2,5	14000	0,11	0,12	0,11	0,11
8	3	14000	0,13	0,15	0,14	0,14
9	3,5	14000	0,15	0,17	0,16	0,16

Опыт №6.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	7-10	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,09	0,10	0,10	0,10
2	3	9500	0,08	0,08	0,08	0,08
3	3,5	9500	0,06	0,07	0,06	0,06
4	2,5	11750	0,08	0,08	0,08	0,08
5	3	11750	0,06	0,07	0,06	0,06
6	3,5	11750	0,08	0,08	0,08	0,08
7	2,5	14000	0,17	0,18	0,17	0,18
8	3	14000	0,22	0,24	0,22	0,22
9	3,5	14000	0,25	0,27	0,25	0,26

Опыт №7.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	10-12	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,10	0,11	0,10	0,11
2	3	9500	0,08	0,09	0,09	0,09
3	3,5	9500	0,07	0,07	0,07	0,07
4	2,5	11750	0,08	0,09	0,09	0,09
5	3	11750	0,07	0,07	0,07	0,07
6	3,5	11750	0,08	0,09	0,09	0,09
7	2,5	14000	0,19	0,20	0,19	0,19
8	3	14000	0,24	0,26	0,24	0,25
9	3,5	14000	0,27	0,30	0,28	0,28

Опыт №8.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	12-14	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса $\Delta KД$			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	0,11	0,12	0,11	0,12
2	3	9500	0,09	0,10	0,10	0,10
3	3,5	9500	0,07	0,08	0,08	0,08
4	2,5	11750	0,09	0,10	0,10	0,10
5	3	11750	0,07	0,08	0,08	0,08
6	3,5	11750	0,09	0,10	0,10	0,10
7	2,5	14000	0,20	0,22	0,21	0,21
8	3	14000	0,26	0,28	0,27	0,27
9	3,5	14000	0,30	0,33	0,31	0,31

Опыт №1.1

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
стерня колосовых	5-7	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V , скорость движения, м/с	$P_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	10,91	11,94	11,25	11,37
2	3	9500	11,52	12,60	11,88	12,00
3	3,5	9500	12,25	13,40	12,63	12,76
4	2,5	11750	12,98	14,19	13,38	13,52
5	3	11750	13,70	14,99	14,13	14,27
6	3,5	11750	14,43	15,78	14,88	15,03
7	2,5	14000	15,40	16,84	15,88	16,04
8	3	14000	16,73	18,30	17,26	17,43
9	3,5	14000	18,31	20,03	18,88	19,07

Опыт №2.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	7-10	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	12,01	13,13	12,38	12,51
2	3	9500	12,67	13,86	13,07	13,20
3	3,5	9500	13,47	14,74	13,89	14,03
4	2,5	11750	14,27	15,61	14,72	14,87
5	3	11750	15,07	16,49	15,54	15,70
6	3,5	11750	15,87	17,36	16,37	16,53
7	2,5	14000	16,94	18,53	17,47	17,65
8	3	14000	18,41	20,13	18,98	19,17
9	3,5	14000	20,14	22,03	20,77	20,98

Опыт №3.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	10-12	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	13,10	14,32	13,51	13,64
2	3	9500	13,82	15,12	14,26	14,40
3	3,5	9500	14,70	16,07	15,16	15,31
4	2,5	11750	15,57	17,03	16,06	16,22
5	3	11750	16,44	17,98	16,96	17,13
6	3,5	11750	17,32	18,94	17,86	18,04
7	2,5	14000	18,48	20,21	19,06	19,25
8	3	14000	20,08	21,96	20,71	20,92
9	3,5	14000	21,97	24,03	22,66	22,89

Опыт №4.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	12-14	45	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	16,37	17,91	16,88	17,05
2	3	9500	17,28	18,90	17,82	18,00
3	3,5	9500	18,37	20,09	18,95	19,14
4	2,5	11750	19,46	21,29	20,07	20,27
5	3	11750	20,55	22,48	21,20	21,41
6	3,5	11750	21,65	23,67	22,32	22,55
7	2,5	14000	23,10	25,27	23,82	24,06
8	3	14000	25,10	27,45	25,89	26,15
9	3,5	14000	27,47	30,04	28,32	28,61

Опыт №1.2

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
стерня колосовых	5-7	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V , скорость движения, м/с	$P_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	12,55	13,73	12,94	13,07
2	3	9500	13,25	14,49	13,66	13,80
3	3,5	9500	14,08	15,41	14,52	14,67
4	2,5	11750	14,92	16,32	15,39	15,54
5	3	11750	15,76	17,24	16,25	16,41
6	3,5	11750	16,59	18,15	17,11	17,29
7	2,5	14000	17,71	19,37	18,26	18,45
8	3	14000	19,24	21,05	19,85	20,05
9	3,5	14000	21,06	23,03	21,72	21,93

Опыт №2.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	7-10	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	13,81	15,10	14,24	14,38
2	3	9500	14,57	15,94	15,03	15,18
3	3,5	9500	15,49	16,95	15,98	16,14
4	2,5	11750	16,41	17,95	16,93	17,10
5	3	11750	17,33	18,96	17,88	18,06
6	3,5	11750	18,25	19,97	18,82	19,01
7	2,5	14000	19,48	21,31	20,09	20,29
8	3	14000	21,17	23,15	21,83	22,05
9	3,5	14000	23,16	25,33	23,89	24,13

Опыт №3.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	10-12	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	15,06	16,47	15,53	15,69
2	3	9500	15,90	17,39	16,39	16,56
3	3,5	9500	16,90	18,49	17,43	17,61
4	2,5	11750	17,91	19,58	18,47	18,65
5	3	11750	18,91	20,68	19,50	19,70
6	3,5	11750	19,91	21,78	20,54	20,74
7	2,5	14000	21,25	23,25	21,92	22,14
8	3	14000	23,09	25,26	23,82	24,06
9	3,5	14000	25,27	27,64	26,06	26,32

Опыт №4.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	12-14	35	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	18,83	20,59	19,41	19,61
2	3	9500	19,87	21,74	20,49	20,70
3	3,5	9500	21,13	23,11	21,79	22,01
4	2,5	11750	22,38	24,48	23,08	23,31
5	3	11750	23,64	25,85	24,38	24,62
6	3,5	11750	24,89	27,23	25,67	25,93
7	2,5	14000	26,57	29,06	27,40	27,67
8	3	14000	28,87	31,57	29,77	30,07
9	3,5	14000	31,59	34,55	32,57	32,90

Опыт №1.3

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
стерня колосовых	5-7	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V , скорость движения, м/с	$P_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_i	y''_i	y'''_i	y_i
1	2,5	9500	16,32	17,85	16,83	17,00
2	3	9500	17,22	18,84	17,76	17,94
3	3,5	9500	18,31	20,03	18,88	19,07
4	2,5	11750	19,40	21,22	20,00	20,21
5	3	11750	20,49	22,41	21,13	21,34
6	3,5	11750	21,57	23,60	22,25	22,47
7	2,5	14000	23,02	25,18	23,74	23,98
8	3	14000	25,02	27,36	25,80	26,06
9	3,5	14000	27,37	29,94	28,23	28,52

Опыт №2.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	7-10	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_i	y''_i	y'''_i	y_i
1	2,5	9500	17,95	19,63	18,51	18,70
2	3	9500	18,94	20,72	19,54	19,73
3	3,5	9500	20,14	22,03	20,77	20,98
4	2,5	11750	21,34	23,34	22,00	22,23
5	3	11750	22,53	24,65	23,24	23,47
6	3,5	11750	23,73	25,96	24,47	24,72
7	2,5	14000	25,33	27,70	26,12	26,38
8	3	14000	27,52	30,10	28,38	28,67
9	3,5	14000	30,11	32,94	31,05	31,37

Опыт №3.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	10-12	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_i	y''_i	y'''_i	y_i
1	2,5	9500	19,58	21,41	20,19	20,39
2	3	9500	20,67	22,60	21,31	21,53
3	3,5	9500	21,97	24,03	22,66	22,89
4	2,5	11750	23,28	25,46	24,00	24,25
5	3	11750	24,58	26,89	25,35	25,61
6	3,5	11750	25,89	28,31	26,70	26,97
7	2,5	14000	27,63	30,22	28,49	28,78
8	3	14000	30,02	32,84	30,96	31,27
9	3,5	14000	32,85	35,93	33,88	34,22

Опыт №4.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
стерня колосовых	12-14	25	суглинок	$\varphi=0,6$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_i	y''_i	y'''_i	y_i
1	2,5	9500	24,47	26,77	25,24	25,49
2	3	9500	25,83	28,26	26,64	26,91
3	3,5	9500	27,47	30,04	28,32	28,61
4	2,5	11750	29,10	31,82	30,01	30,31
5	3	11750	30,73	33,61	31,69	32,01
6	3,5	11750	32,36	35,39	33,37	33,71
7	2,5	14000	34,54	37,77	35,61	35,97
8	3	14000	37,53	41,04	38,70	39,09
9	3,5	14000	41,06	44,91	42,35	42,77

Опыт №5.1

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
посев	5-7	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V , скорость движения, м/с	$P_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	12,13	13,26	12,51	12,63
2	3	9500	13,18	14,41	13,59	13,73
3	3,5	9500	14,31	15,65	14,76	14,91
4	2,5	11750	15,44	16,89	15,92	16,08
5	3	11750	18,19	19,89	18,76	18,95
6	3,5	11750	20,86	22,81	21,51	21,73
7	2,5	14000	26,11	28,56	26,93	27,20
8	3	14000	39,94	43,68	41,18	41,60
9	3,5	14000	40,59	44,40	41,86	42,28

Опыт №6.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	7-10	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	13,34	14,59	13,76	13,89
2	3	9500	14,49	15,85	14,95	15,10
3	3,5	9500	15,74	17,22	16,23	16,40
4	2,5	11750	16,98	18,58	17,52	17,69
5	3	11750	20,01	21,88	20,63	20,84
6	3,5	11750	22,94	25,09	23,66	23,90
7	2,5	14000	28,72	31,42	29,62	29,92
8	3	14000	43,93	48,05	45,30	45,76
9	3,5	14000	44,65	48,84	46,05	46,51

Опыт №7.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	10-12	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	14,55	15,92	15,01	15,16
2	3	9500	15,81	17,30	16,31	16,47
3	3,5	9500	17,17	18,78	17,71	17,89
4	2,5	11750	18,53	20,27	19,11	19,30
5	3	11750	21,83	23,87	22,51	22,74
6	3,5	11750	25,03	27,38	25,81	26,07
7	2,5	14000	31,33	34,27	32,31	32,64
8	3	14000	47,92	52,42	49,42	49,92
9	3,5	14000	48,71	53,28	50,23	50,74

Опыт №8.1

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	12-14	45	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	16,98	18,57	17,51	17,68
2	3	9500	18,45	20,18	19,02	19,22
3	3,5	9500	20,03	21,91	20,66	20,87
4	2,5	11750	21,62	23,64	22,29	22,52
5	3	11750	25,47	27,85	26,26	26,53
6	3,5	11750	29,20	31,94	30,11	30,42
7	2,5	14000	36,56	39,98	37,70	38,08
8	3	14000	55,91	61,15	57,66	58,24
9	3,5	14000	56,83	62,15	58,60	59,19

Опыт №5.2

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
посев	5-7	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V , скорость движения, м/с	$P_{кр}$, крюковое усилие, Н	y_1'	y_1''	y_1'''	y_1
1	2,5	9500	13,95	15,25	14,38	14,53
2	3	9500	15,15	16,57	15,63	15,79
3	3,5	9500	16,46	18,00	16,97	17,14
4	2,5	11750	17,76	19,42	18,31	18,50
5	3	11750	20,92	22,88	21,57	21,79
6	3,5	11750	23,99	26,23	24,74	24,99
7	2,5	14000	30,03	32,84	30,97	31,28
8	3	14000	45,93	50,23	47,36	47,84
9	3,5	14000	46,68	51,06	48,14	48,62

Опыт №6.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	7-10	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y_1'	y_1''	y_1'''	y_1
1	2,5	9500	15,34	16,78	15,82	15,98
2	3	9500	16,67	18,23	17,19	17,36
3	3,5	9500	18,10	19,80	18,67	18,86
4	2,5	11750	19,53	21,36	20,14	20,35
5	3	11750	23,01	25,17	23,73	23,97
6	3,5	11750	26,38	28,86	27,21	27,48
7	2,5	14000	33,03	36,13	34,06	34,41
8	3	14000	50,52	55,26	52,10	52,62
9	3,5	14000	51,35	56,16	52,95	53,49

Опыт №7.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	10-12	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y_1'	y_1''	y_1'''	y_1
1	2,5	9500	16,73	18,30	17,26	17,43
2	3	9500	18,18	19,89	18,75	18,94
3	3,5	9500	19,75	21,60	20,36	20,57
4	2,5	11750	21,31	23,31	21,97	22,20
5	3	11750	25,10	27,45	25,89	26,15
6	3,5	11750	28,78	31,48	29,68	29,98
7	2,5	14000	36,03	39,41	37,16	37,54
8	3	14000	55,11	60,28	56,83	57,41
9	3,5	14000	56,02	61,27	57,77	58,35

Опыт №8.2

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	12-14	35	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$P_{кр}$,	y_1'	y_1''	y_1'''	y_1
1	2,5	9500	19,18	20,98	19,78	19,98
2	3	9500	20,85	22,80	21,50	21,72
3	3,5	9500	22,64	24,76	23,34	23,58
4	2,5	11750	24,43	26,72	25,19	25,45
5	3	11750	28,78	31,47	29,67	29,97
6	3,5	11750	33,00	36,09	34,03	34,37
7	2,5	14000	41,31	45,18	42,60	43,03
8	3	14000	63,18	69,10	65,15	65,81
9	3,5	14000	64,21	70,23	66,22	66,89

Опыт №5.3

Фон	Угол наклона опорной поверхности α , рад.	Угол наклона грунтозацепа к продольной плоскости колеса β , рад.	Структурный состав почвы	коэффициент сцепления
посев	5-7	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V , скорость движения, м/с	$R_{кр}$, крюковое усилие, Н	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	18,13	19,83	18,70	18,88
2	3	9500	19,70	21,55	20,32	20,52
3	3,5	9500	21,39	23,40	22,06	22,28
4	2,5	11750	23,08	25,25	23,81	24,05
5	3	11750	27,19	29,74	28,04	28,33
6	3,5	11750	31,18	34,10	32,16	32,48
7	2,5	14000	39,04	42,70	40,26	40,66
8	3	14000	59,70	65,30	61,57	62,19
9	3,5	14000	60,68	66,37	62,58	63,21

Опыт №6.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	7-10	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	19,94	21,81	20,56	20,77
2	3	9500	21,67	23,70	22,35	22,57
3	3,5	9500	23,53	25,74	24,27	24,51
4	2,5	11750	25,39	27,77	26,19	26,45
5	3	11750	29,91	32,72	30,85	31,16
6	3,5	11750	34,30	37,52	35,37	35,73
7	2,5	14000	42,94	46,97	44,28	44,73
8	3	14000	65,67	71,83	67,73	68,41
9	3,5	14000	66,75	73,01	68,84	69,53

Опыт №7.3

Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	10-12	25	суглинок	$\varphi=0,5$

u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	21,75	23,79	22,43	22,66
2	3	9500	23,64	25,86	24,38	24,63
3	3,5	9500	25,67	28,08	26,47	26,74
4	2,5	11750	27,70	30,30	28,57	28,86
5	3	11750	32,63	35,69	33,65	33,99
6	3,5	11750	37,42	40,93	38,59	38,98
7	2,5	14000	46,84	51,24	48,31	48,80
8	3	14000	71,65	78,36	73,88	74,63
9	3,5	14000	72,82	79,65	75,10	75,85

Опыт №8.3

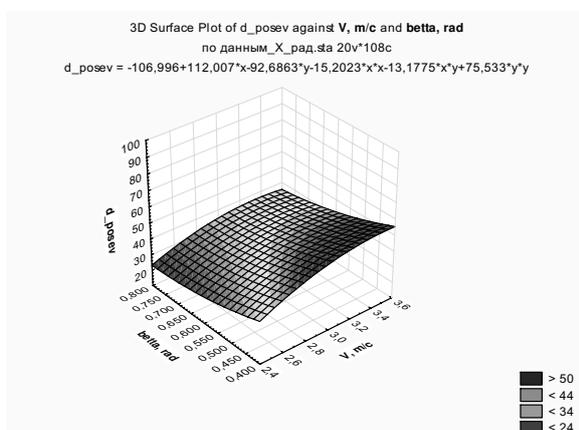
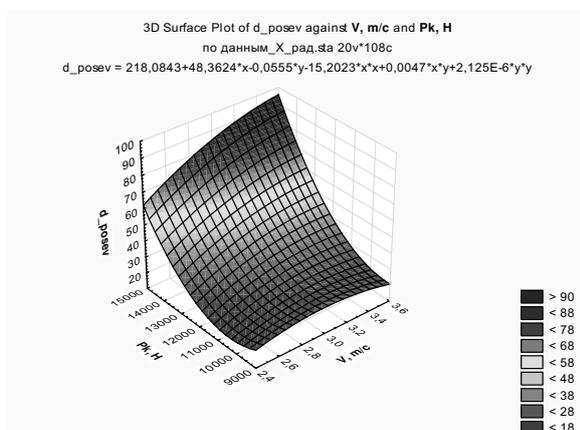
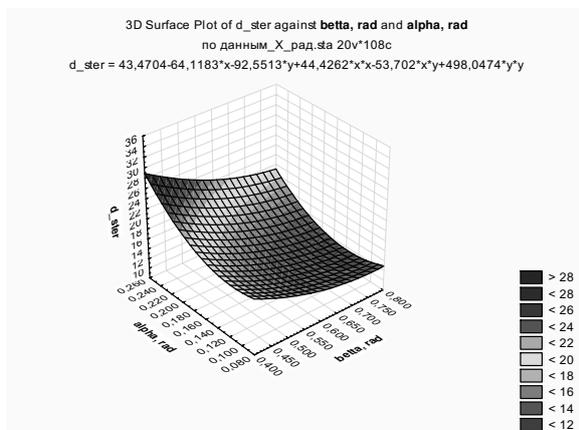
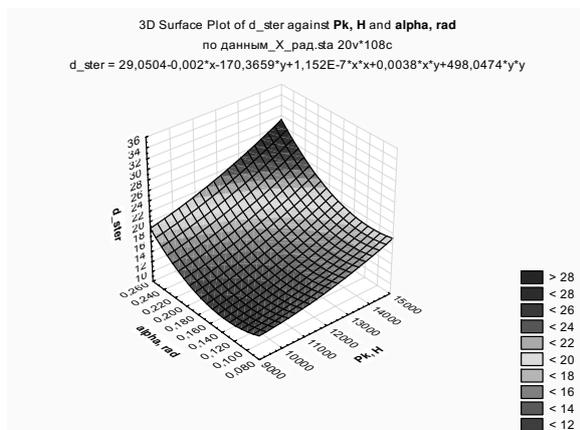
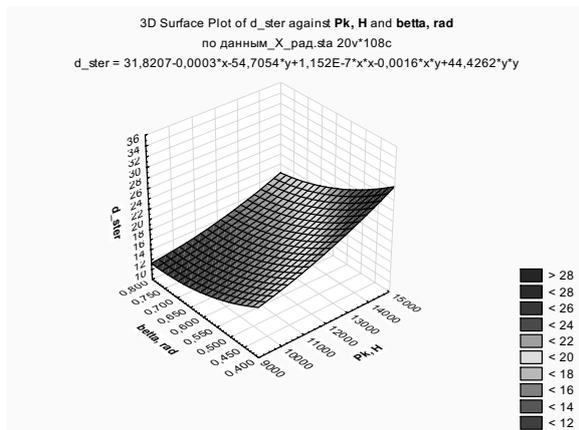
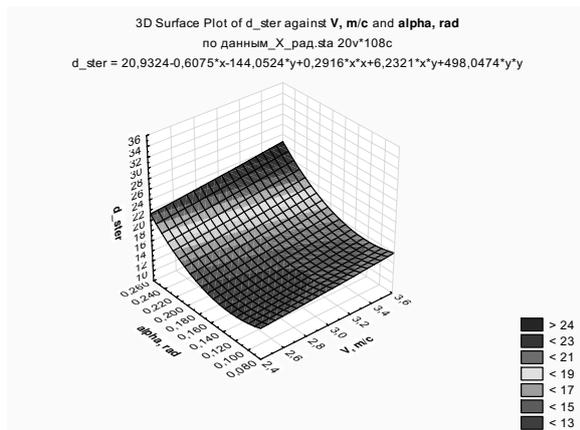
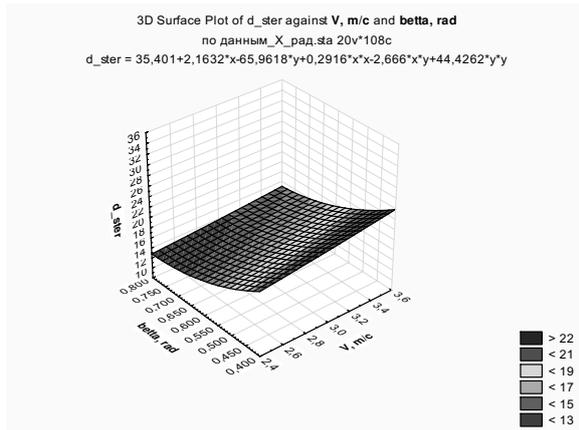
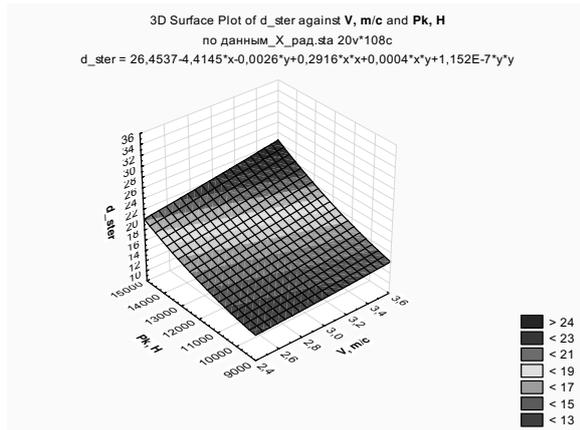
Фон	α	β		коэффициент сцепления
посев	12-14	25	суглинок	$\varphi=0,5$

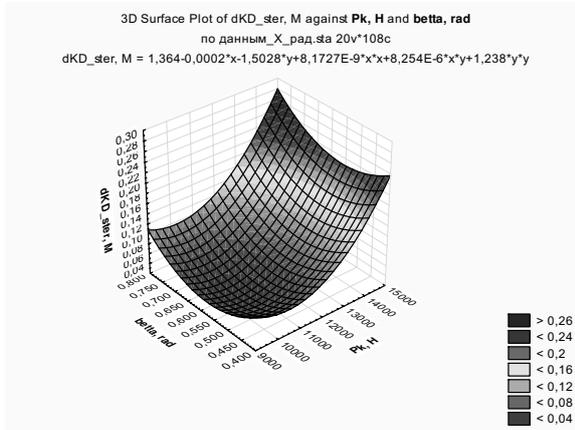
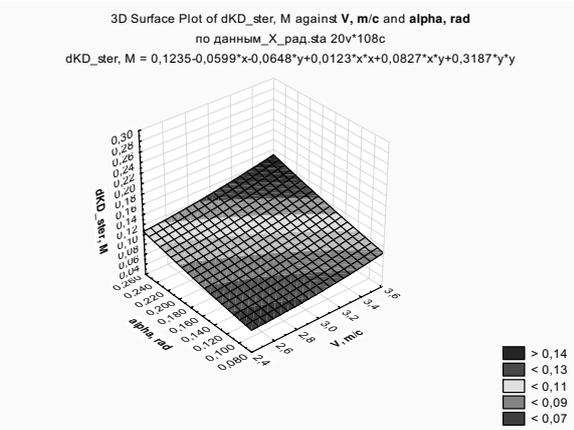
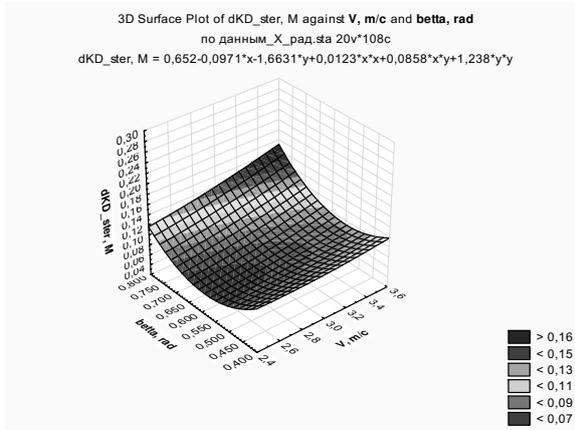
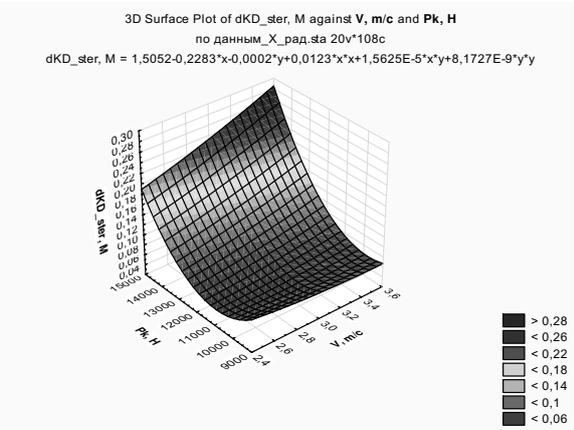
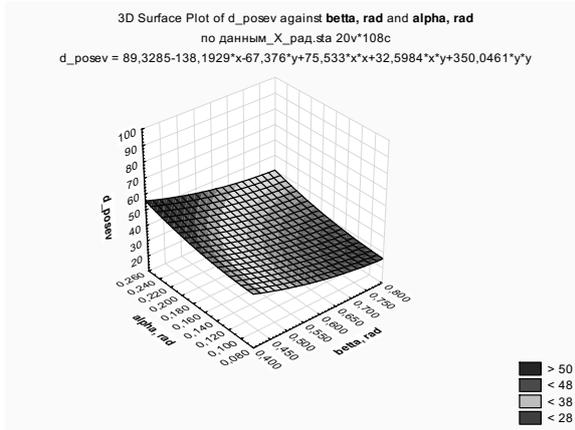
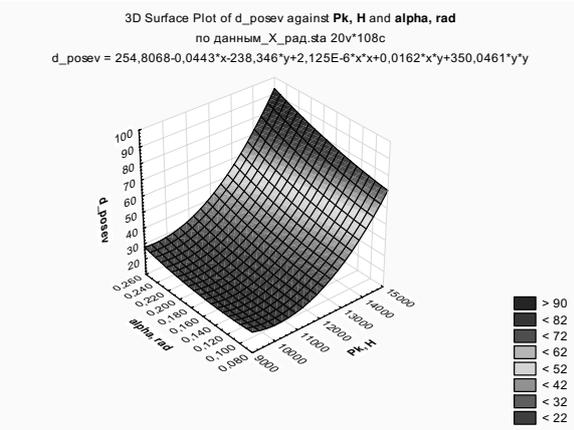
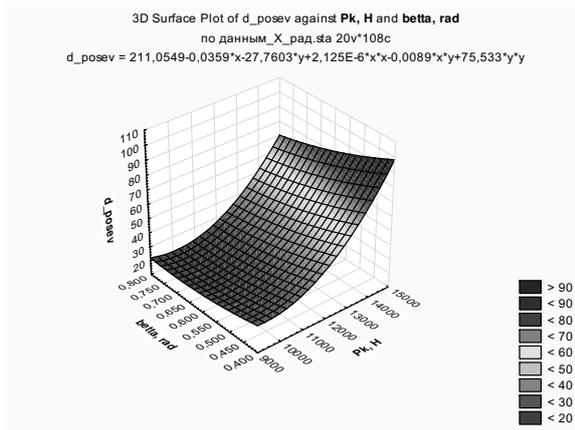
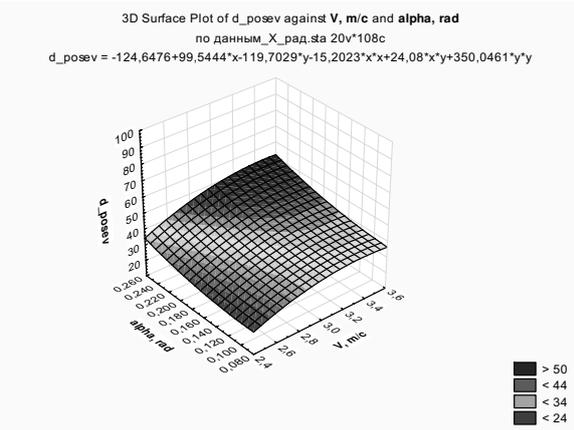
u	Натуральные переменные		Выход процесса Gt			
	V ,	$R_{кр}$,	y'_1	y''_1	y'''_1	y_1
1	2,5	9500	21,68	23,71	22,36	22,58
2	3	9500	23,56	25,76	24,29	24,54
3	3,5	9500	25,58	27,98	26,38	26,65
4	2,5	11750	27,60	30,19	28,47	28,75
5	3	11750	32,52	35,57	33,53	33,87
6	3,5	11750	37,29	40,78	38,45	38,84
7	2,5	14000	46,68	51,06	48,14	48,62
8	3	14000	71,39	78,08	73,62	74,37
9	3,5	14000	72,56	79,37	74,83	75,59

Приложение II

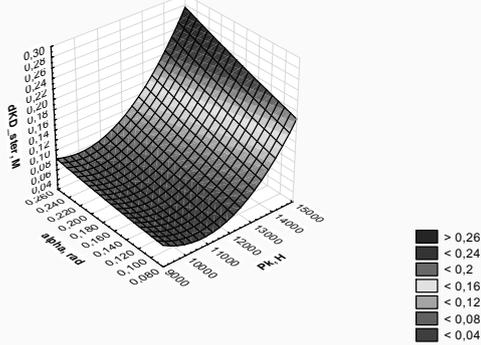
Результаты многофакторного регрессионного анализа в среде STATISTICA

	Фактор	d_ster	d_posev	dKD_ster	dKD_posev	Gt_ster	Gt_posev
b		48,087	229,052	2,302	2,78625	60,742	192,886
X1	V, m/c	-0,33059	1,08112	-2,05588	-3,65131	-0,33059	1,08112
X2	Pk, kH	-0,85888	-4,9663	-7,28254	-8,16299	-0,85888	-4,9663
X3	betta, rad	-1,08306	0,04208	-4,54323	-1,12439	-1,08306	0,04208
X4	alpha, rad	-1,66309	-0,86897	-1,05603	-0,57628	-1,66309	-0,86897
X1* X2	V*Pk	0,63778	1,76986	1,95339	2,95517	0,63778	1,76986
X1* X3	V*betta	-0,27389	-0,33444	0,72745	0,80595	-0,27389	-0,33444
X1* X4	V*alpha	0,22264	0,21252	0,24385	0,30271	0,22264	0,21252
X2* X3	Pk*betta	-0,68666	-0,92029	0,28557	-0,97383	-0,68666	-0,92029
X2* X4	Pk*alpha	0,55298	0,57934	0,77133	1,0723	0,55298	0,57934
X3* X4	alpha*betta	-0,46058	0,06907	0,43646	0,05018	-0,46058	0,06907
X1^2	V*2	0,14742	-1,89864	0,51395	1,36308	0,14742	-1,89864
X2^2	Pk*2	1,02686	4,6793	6,01462	6,64037	1,02686	4,6793
X3^2	betta*2	1,59997	0,672	3,68102	1,31717	1,59997	0,672
X4^2	alpha*2	1,83734	0,31901	0,09708	-0,26624	1,83734	0,31901

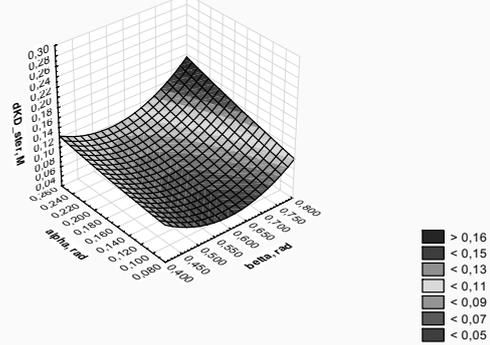




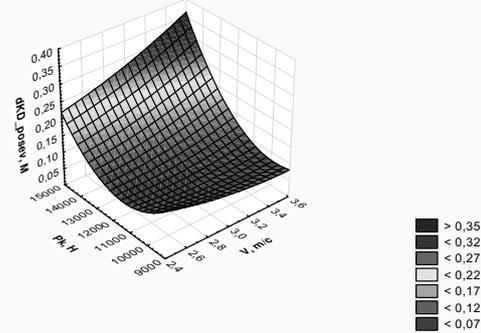
3D Surface Plot of dKD_ster, M against Pk, H and alpha, rad
по данным_X_рад.ста 20v*108с
dKD_ster, M = 1,0273-0,0002*x-0,5772*y+8,1727E-9*x*x+6,4717E-5*x*y+0,3187*y*y



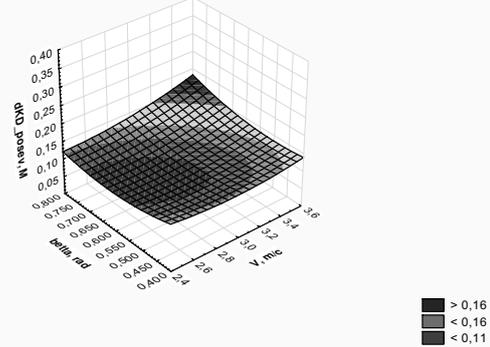
3D Surface Plot of dKD_ster, M against beta, rad and alpha, rad
по данным_X_рад.ста 20v*108с
dKD_ster, M = 0,4974-1,5188*x-0,1933*y+1,238*x*x+0,6164*x*y+0,3187*y*y



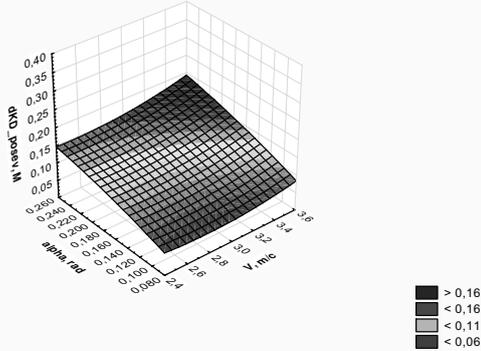
3D Surface Plot of dKD_posev, M against V, m/c and Pk, H
по данным_X_рад.ста 20v*108с
dKD_posev, M = 2,4894-0,5267*x-0,0003*y+0,0383*x*x+2,7752E-5*x*y+1,0593E-8*y*y



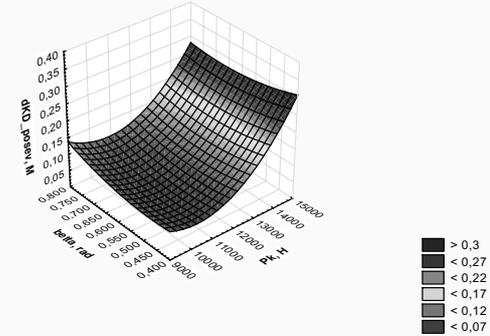
3D Surface Plot of dKD_posev, M against V, m/c and beta, rad
по данным_X_рад.ста 20v*108с
dKD_posev, M = 0,7324-0,2687*x-0,9173*y+0,0383*x*x+0,1116*x*y+0,5201*y*y



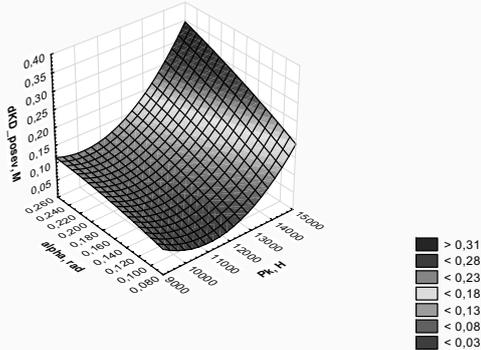
3D Surface Plot of dKD_posev, M against V, m/c and alpha, rad
по данным_X_рад.ста 20v*108с
dKD_posev, M = 0,3183-0,2227*x+0,522*y+0,0383*x*x+0,1205*x*y-1,0263*y*y



3D Surface Plot of dKD_posev, M against Pk, H and beta, rad
по данным_X_рад.ста 20v*108с
dKD_posev, M = 1,1749-0,0002*x-0,1943*y+1,0593E-8*x*x-3,3046E-5*x*y+0,5201*y*y



3D Surface Plot of dKD_posev, M against Pk, H and alpha, rad
по данным_X_рад.ста 20v*108с
dKD_posev, M = 1,3635-0,0002*x-0,3576*y+1,0593E-8*x*x+0,0001*x*y-1,0263*y*y



3D Surface Plot of dKD_posev, M against beta, rad and alpha, rad
по данным_X_рад.ста 20v*108с
dKD_posev, M = 0,1622-0,5979*x+0,8327*y+0,5201*x*x+0,0832*x*y-1,0263*y*y

