

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование кафедры)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему Оптимизация тягово-сцепных свойств движителей трактора

Студент

Д.А. Глухов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.Е. Епишкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

канд. техн. наук, доцент А.Н. Москалюк

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

канд. экон. наук, доцент О.М. Сярдова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

канд. пед. наук, доцент С.А. Гудкова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Дипломный проект выполнен на тему: «Оптимизация тягово-сцепных свойств двигателей трактора».

Пояснительная записка содержит шесть разделов, введение и заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложение, всего 113 страниц с приложениями. Графическая часть содержит 8 листов формата А1, выполненных в универсальной системе автоматизированного проектирования Компас 3D. Проект полностью соответствует выданному заданию.

В качестве конструкторской разработки предложена система регулирования давления в шинах трактора с целью улучшения тягово-сцепных свойств двигателей.

В первом разделе рассмотрены тенденции и перспективы развития колесных тракторов общего назначения, технические характеристики тракторов «Кировец», определены задачи дипломного проектирования.

Во втором разделе проведены исследования эффективных режимов работы трактора «Кировец», выполнена оценка тяговых свойств модернизированного трактора.

В третьем разделе рассмотрены способы улучшения сцепных свойств трактора и обоснована схема системы регулирования давления в шинах трактора.

В четвертом разделе конструктивно разработана система регулирования давления воздуха в шинах.

В ВКР также разработаны вопросы, связанные с техникой безопасности и охраной труда. Намечены мероприятия по экологической безопасности.

В последнем разделе ВКР приведено экономическое обоснование рациональных параметров и режимов работы тракторов «Кировец» в составе почвообрабатывающих агрегатов.

В заключении сделаны выводы по ВКР.

Abstract

The title of the graduation work is: «The optimization of traction-chain properties of the tractor caterpillar drives».

The explanatory note consists of 113 pages, including six parts, introduction and conclusion, list of references and other sources, appendix. The graphic part is on 8 A1 sheets, which executed in the computer-aided modeling system KOMPAS-3D. The graduation project is fully consistent with the issued assignment. In this paper, the construction of a system for regulation tractor tires pressure is proposed to improve traction-chain properties of the caterpillar drives.

In the first part, the development trends and prospects of general-purpose wheeled tractors are considered. Also, the technical characteristics of the tractors «Kirovets» are reviewed and the tasks of the graduation diploma project are determined.

In the second part are suggested the technical specification on the developed design and operating instruction. In the second part, research of the effective operating modes of the tractor «Kirovets» are carried out. The traction properties of the modernized tractor are estimated.

The third part presents the technological process of inspection of gas cylinders.

In the third part, methods of improving the tractor adhesion properties are presented. The scheme of the tractor tires pressure regulation system in the is proposed.

In the fourth part the construction development of the tire pressure regulation system is presented.

The graduation work covers safety and labor protection issues. Measures to ensure ecological safety are outlined.

In the last part of the graduation work an economic justification of the rational parameters and operating modes of the tractors «Kirovets» is provided as part of the tillage machines.

In the conclusion of graduation project, outputs are drawn.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 6 |
| 1 Состояние вопроса | 9 |
| 1.1 Тенденции и перспективы развития колесных тракторов общего назначения..... | 9 |
| 1.2 Техническая характеристика тракторов семейства «Кировец»..... | 16 |
| 1.3 Занятость колесных тракторов в составе почвообрабатывающих комплексов | 19 |
| 1.4 Направление энергосберегающего использования агрегатов для обработки почвы..... | 21 |
| 1.5 Выводы и задачи дипломного проекта | 22 |
| 2 Результаты исследования эффективных режимов работы тракторов «Кировец» | 24 |
| 2.1 Оценка тягово-сцепных свойств колесного трактора К-701 | 24 |
| 2.2 Зависимость вертикальных нагрузок на ведущих мостах от тягового усилия тракторов «Кировец» | 29 |
| 2.3 Потенциальные возможности энергонасыщенных колесных тракторов на различных фонах | 39 |
| 2.4 Рациональные режимы использования тракторов «Кировец» концепции в составе почвообрабатывающих агрегатов..... | 48 |
| 3 Улучшение сцепных свойств трактора | 64 |
| 3.1 Обзор патентов по изменению давления в шинах | 64 |
| 3.2 Обоснование схемы системы регулирования давления в шинах трактора | 74 |
| 4 Конструкторская разработка..... | 78 |
| 4.1 Устройство и принцип работы системы регулирования давления в шинах..... | 78 |
| 4.2 Расчет системы и ее элементов..... | 80 |
| 5 Безопасность и экологичность проектных решений | 89 |

| | |
|---|-----|
| 5.1 Характеристика объекта проектирования | 89 |
| 5.2 Обеспечение безопасности при работе трактора..... | 90 |
| 5.3 Удобство обслуживания системы | 91 |
| 5.4 Инструкция по охране труда для тракториста..... | 92 |
| 5.5 Экологичность проекта | 95 |
| 6 Экономическое обоснование рациональных параметров и режимов работы тракторов «Кировец» в составе почвообрабатывающих агрегатов..... | 97 |
| Заключение | 105 |
| Список используемой литературы и используемых источников..... | 107 |
| Приложение А Спецификации..... | 112 |

Введение

«Трактор сложная машина, и требования, предъявляемые к ним, настолько разнообразны, что для их удовлетворения необходимо наличие ряда эксплуатационных качеств. Эти качества должны в комплексе характеризовать эффективность работы трактора в тех или иных условиях» [17].

Требования, предъявляемые к эксплуатационным качествам тракторов непрерывно, развиваются и дифференцируются в зависимости от назначения машин и условий их использования.

«Производительность трактора определяется размером земельной площади, которая может быть им обработана в агрегате с соответствующими сельскохозяйственными машинами в единицу времени при соблюдении заданных качественных показателей. Она зависит, прежде всего, от ширины захвата сельскохозяйственных машин, с которыми работает трактор, и скорости движения при выполнении данной операции» [9].

«Экономичность трактора определяется себестоимостью выполненных работ и зависит от величины расхода топлива, смазочных материалов и их стоимости, затрат на заработную плату, расходов на техническое обслуживание и ремонт, срока службы деталей, размеров отчислений на амортизацию и ряда других факторов» [6].

«Полная оценка эксплуатационных качеств может быть сделана на основе сочетания расчетно-теоретического анализа и соответствующих экспериментальных исследований» [23].

«Эффективность сельскохозяйственного производства, при многообразии технологических операций с различной энергоемкостью, в значительной степени определяется эксплуатационными параметрами и режимами работы тракторных агрегатов. При сложившихся формах собственности и хозяйствования в АПК региона около половины продукции растениеводства и животноводства производят 20% наиболее крупных

предприятий (площадь пашни более 6000 га), качественный состав тракторного парка которых предопределен зональной системой машин» [24, 28].

«Основной причиной низкой эффективности агрегатирования энергонасыщенных колесных тракторов с установленными для зоны характеристиками, является недоиспользование потенциальных возможностей из-за низких тягово-сцепных свойств» [23].

Существенным резервом в решении данной проблемы является системная адаптация эксплуатационных параметров тракторов, машин-орудий и режимов их совместной работы к условиям региона использования.

«Актуальность проблемы: Современные тракторы отличаются высокой энергонасыщенностью, а применяемые на них дизели характеризуются большим коэффициентом запаса крутящего момента. Однако при работе трактора на некоторых сельскохозяйственных операциях в составе тяговых агрегатов эксплуатационная мощность двигателя реализуется не полностью вследствие ограничения максимальной скорости по агротехническим и технико-экономическим требованиям» [23].

В результате этого увеличивается расход топлива, который составляет 45% от общего числа затрат на производство единицы продукции. Недостаток механизаторских кадров на селе особо остро ставит вопрос о повышении производительности машинно-тракторного агрегата (МТА), а в условиях рискованного земледелия сокращения сроков полевых работ еще острее ставят эту проблему.

«Снижение топливно-энергетических затрат, повышение производительности МТА, сокращения сроков полевых работ, можно достичь путем применения тяжелых тракторов общего назначения семейства «Кировец» в составе современных энергосберегающих технологических комплексов, обеспечения их рациональных параметров и режимов работы на основе системных принципов ее адаптации к основным природно-производственным факторам» [12].

Таким образом, оптимизация параметров и режимов работы МТА на базе энергонасыщенных тракторов является перспективным направлением экономии топливно-энергетических ресурсов и приобретает особую актуальность.

Цель работы: Повышение технологического уровня колесных тракторов на основе оптимизации параметров и режимов работы для снижения энергетических и материальных затрат.

Объект исследования – процесс взаимодействия показателей рабочего хода тяговых агрегатов с факторами эксплуатации.

Предметом исследования является закономерности формирования и взаимосвязь энергетических и топливно-экономических показателей с природно-производственными условиями при использовании тракторов, машин-орудий и режимов их совместного функционирования.

1 Состояние вопроса

1.1 Тенденции и перспективы развития колесных тракторов общего назначения

«Сельскохозяйственные тракторы как мобильные энергетические средства (далее – МЭС) являются составной частью машинно-тракторных агрегатов (далее – МТА), предназначенных для перемещения сельхозмашин и привода их рабочих органов, поэтому их технологические свойства должны рассматриваться только в составе МТА. Специфика и ограниченные сроки выполнения технологических операций предъявляют повышенные требования к таким эксплуатационным качествам МТА, как производительность, топливные, энергетические и трудовые затраты на выполнение механизированных работ» [25, 29].

«Рассматривая тенденции, резервы и проблемы развития и использования сельскохозяйственных тракторов с точки зрения улучшения их эксплуатационных качеств можно отметить два направления:

- интенсивное развитие параметров – кратное увеличение тяговой мощности и мощности, снимаемой с вала отбора мощности трактора;
- экстенсивное – модернизация механизмов и систем, позволяющая увеличить степень использования установленной мощности двигателя в полезную работу» [28].

«Первое направление характеризуется повышением эксплуатационной мощности двигателя, которое призвано кратно увеличить рабочую скорость и соответственно производительность МТА.

Второе направление предусматривает изыскание резервов повышения качества преобразования энергии сжигаемого топлива в полезную работу трактора за счет повышения степени использования потенциальных возможностей моторно-трансмиссионной установки (далее – МТУ) и ходовой

системы и призвано, без ухудшения управляемости, устойчивости и проходимости, повысить производительность, а главное снизить удельные энергозатраты на выполнение технологических операций.

Проведенный ретроспективный анализ развития сельскохозяйственных тракторов отечественного и зарубежного производства за последние шестьдесят лет показал, что повышение энергонасыщенности и степени использования эксплуатационной мощности двигателей является определяющим в тенденции их совершенствования как мобильных энергетических средств и приоритетным направлением деятельности всех тракторостроительных заводов» [28].

«Начиная с 1950-х годов, энергонасыщенность тракторов, определяемая соотношением эксплуатационной мощности двигателя и массы трактора, непрерывно повышалась. Эта тенденция была обусловлена [28] стремлением повысить производительность МТА за счет роста рабочей скорости. Однако с ростом энергонасыщенности возникло явление «убывающей эффективности», заключающееся в том, что повышение производительности МТА отстаёт от прироста мощности тракторного двигателя. По мере увеличения мощности двигателя разница в приросте мощности и производительности возрастает» [25].

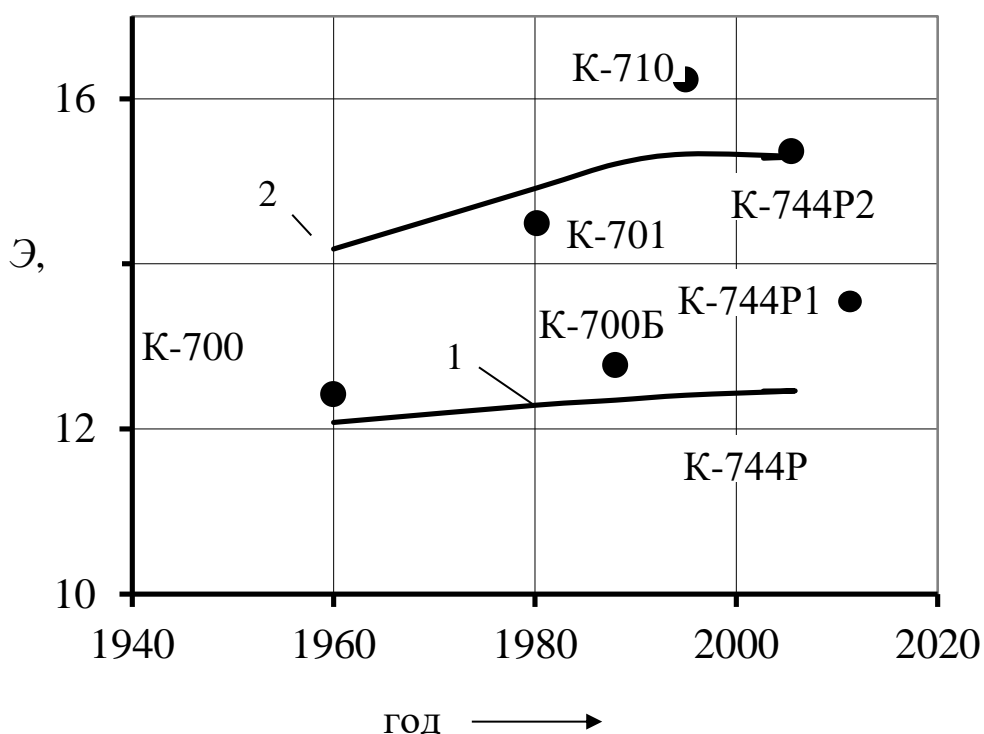
«За последние 60 лет энергонасыщенность отечественных колесных тракторов общего назначения возросла в 1,3 раза (рисунок 1) и достигла уровня 16,5 кВт/т, при котором наметилась тенденция к стабилизации и даже снижению ее до 14,5 кВт/т.

При такой энергонасыщенности определяющим для роста производительности МТА стало не столько ее повышение, сколько максимальное использование потенциальных возможностей за счет универсальности и расширения функциональных качеств, улучшающих приспособленность трактора к выполнению технологических операций. Повышение универсальности выражается в применении гидромеханических и механических с переключением на ходу трансмиссий, улучшении тягово-

цепных свойств, расширении функций гидропривода и номенклатуры рабочего и вспомогательного оборудования.

Однако основной причиной возникшей тенденции стабилизации энергонасыщенности сельскохозяйственных тракторов стало достижение рабочими скоростями МТА на основных операциях технологического предела» [25].

Энергонасыщенность отечественных сельскохозяйственных колесных тракторов представлена на рисунке 1.



1 – тяговой концепции при скорости в пределах от 7 до 9 км/ч; 2 – тяговой энергетической концепции (скоростные) при скорости в пределах от 9 до 11 км/ч

Рисунок 1 – Энергонасыщенность отечественных сельскохозяйственных колесных тракторов 4К4б класс 5

«По результатам исследований НАТИ, ВИМа, ВИСХОМа [16, 25], темп прироста производительности МТА в 1,2-1,6 раза отстает от темпа роста энергонасыщенности. Основной причиной низкой эффективности агрегатирования энергонасыщенных тракторов на повышенных скоростях

стала квадратичная зависимость тягового сопротивления от скорости МТА.

На основных операциях прирост тягового сопротивления при повышении скорости движения на 1 км/ч в диапазоне от 9 до 15 км/ч вдвое выше, чем в диапазоне от 5 до 9 км/ч.

Прогнозируемый уровень рабочих скоростей на почвообработке (от 2,2 до 3,3 м/с) очень высок, но остается проблема сохранения структуры и плодородия почвы, повышения интенсивности труда и обеспечение комфорта оператора и техники безопасности при управлении скоростными МТА» [25].

«Анализ использования энергонасыщенных колесных тракторов общего назначения, поставленных на производство в 1970-1990 гг., показал существенное увеличение энергозатрат на основных работах при незначительном повышении производительности МТА. Эффективность скоростной техники выше на полях правильной конфигурации при большой длине гонов. На малых участках непроизводительные затраты (на перегон, повороты и переналадку агрегатов) составляют в пределах от 30 до 70 % времени; на 25 % снижается выработка и повышаются расходы на содержание техники» [20].

Поэтому планируемый уровень энергонасыщенности перспективных тракторов остался пока на достигнутом максимальном уровне.

«Для отечественных колесных тракторов с формулой 4к4б семейства «Кировец» характерно также снижение темпа роста энергонасыщенности при достижении уровня от 15 до 16,4 кВт/т (К-710, К-744Р2). При этом продолжается выпуск модернизированных тракторов тяговой концепции К-744Р энергонасыщенностью 11,14 кВт/т, что можно объяснить необходимостью сохранения сложившегося для данного класса шлейфа сельскохозяйственных машин и орудий, а также использования тягово-приводной концепции трактора с сохранением элементной базы» [9].

ГОСТ 4.40-84 устанавливает в качестве одного из критериев оценки технического уровня тракторов удельную конструкционную массу (далее – УдКМ).

«Тенденции снижения энергонасыщенности и роста УдКМ подтверждаются результатами испытаний тракторов, поступающих на рынки США, Канады и Западной Европы.

Среднее значение УдКМ для полноприводных тракторов (4×4) фирм США и Канады [24] класса трактора «Кировец», испытанных с 1973 по 2000 г., возросли с 62,9 до 66,0 кг/кВт. Среднее значение УдКМ для тракторов, выпускаемых ведущими тракторостроительными фирмами Западной Европы, увеличилось с 1971 по 1980 г. на 9,4 %

Однако в период с 1980 по 2010 г. наблюдалось некоторое снижение УдКМ тракторов 4×4, что обусловлено широким использованием балластирования и навесных сельскохозяйственных машин с активными рабочими органами, для улучшения сцепных свойств» [1].

«С 1970 г. за рубежом, а затем и в России на промышленных и сельскохозяйственных тракторах общего назначения значительное развитие получили МТУ с двигателем постоянной мощности (далее – ДПМ). Их применение уменьшает число передач и упрощает коробку передач (далее – КП), а также обеспечивает высокую степень использования мощности, что сопровождается повышением среднего уровня тяговой мощности в диапазоне от 5 до 18 % и увеличением диапазона тяговых усилий в диапазоне от 20 до 30 % при снижении эксплуатационного расхода топлива» [2].

«Тракторы общего назначения отечественного и зарубежного производства оснащаются ДПМ. При колебаниях тяговой нагрузки работа ДПМ на корректоре осуществляет бесступенчатое автоматическое регулирование скорости движения МТА» [1].

Степень использования мощности тракторного двигателя, напряженность условий труда оператора, производительность и топливно-энергетические показатели МТА определяются уровнем совершенствования КП.

«Применение автоматической коробки передач (далее – ПНХ) по сравнению с механической коробкой позволяет:

- в 4 раза уменьшить количество включений муфты сцепления;
- в 3 раза снизить динамические нагрузки при переключении передач;
- повысить производительность до 14 % на пахоте и до 20 % на транспорте» [15].

Основные недостатки КП с ПНХ: сложность, металлоемкость и более низкий (на 3 %) КПД; высокая стоимость производства и эксплуатации; низкие защитные и демпфирующие свойства, ухудшающие условия работы и надежность механизмов при неустановившемся характере нагрузки.

«В соответствии с нормативами [83] сельскохозяйственный трактор должен иметь следующие диапазоны скоростей движения:

- основные: от 2,2 до 4,2 м/с;
- дополнительные: от 0,7 до 2,2 м/с;
- транспортные: от 4,5 до 10,5 м/с.

Необходимое число передач в заданных диапазонах рассчитывается в соответствии с рациональной структурой ряда передач, в основе которой лежит принцип геометрической прогрессии, не всегда учитывающий для упрощения конструкции КП вероятную перегрузку двигателя, связанную с неравномерностью тягового сопротивления машин и орудий» [21].

Численность колесных тракторов класса 5 парка Поволжского региона приведена на рисунке 2.

«Выпускаемые более 20 лет многие модели к настоящему времени морально устарели. Качество тракторов снизилось, усилилось отставание от технического уровня зарубежных аналогов по показателям надежности, автоматизации, условиям работы оператора, экологичности и топливной экономичности. Уровень безотказности серийных отечественных тракторов в реальной эксплуатации к 2001 г. снизился на 40 %. Также из-за ослабленных позиций отечественных тракторостроителей крупнейшие зарубежные корпорации за последние два года реализовали на внутреннем рынке РФ около 2000 тракторов при соотношении цен от 4,5 до 7,2» [18].

Трактора семейства "Кировец"

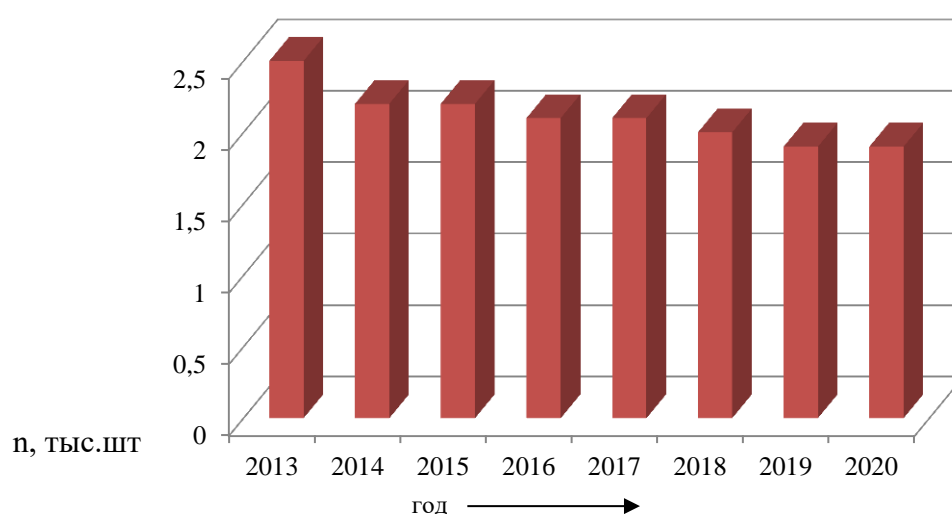


Рисунок 2 – Численность тракторов «Кировец» в Поволжском регионе

«Выполненный анализ показал, что новые модели отечественных тракторов общего назначения, подготовленные к серийному производству по большинству показателей технического уровня и долговечности, не уступают зарубежным аналогам, соответствуют требованиям имеющихся агротехнологий и значительно лучше приспособлены к эксплуатации в России разнообразию почвенно-климатических зон, отечественным сортам топлива, масел, парку машин и орудий, выпускаемым запчастям, имеющейся ремонтной базе» [10].

«По критерию цена – качество отечественная тракторная техника достаточно конкурентоспособна на внутреннем рынке России, а также на рынках стран СНГ. Сохранившийся достаточно высокий научно-производственный потенциал отрасли способен обеспечить Стратегию развития тракторостроения» [9].

При сложившихся за этот период различных формах собственности и хозяйствования отмечаются следующие тенденции:

- «удельная трактороснащенность предприятий отрасли снизилась с 6,96 до 5,90 штук на 1000 га пашни и ориентирована на массовое использование тракторов отечественного производства, 85%

которых работают за пределами амортизации» [24];

- «качественный состав тракторного парка основных товаропроизводителей predetermined «Зональной системой машин и технологий», доля колесных тракторов общего назначения производства ПТЗ составляет от общего количества от 17 до 22 %» [15].

1.2 Техническая характеристика тракторов семейства «Кировец»

В данном разделе будет представлена описательная часть предназначения, основных характеристик трактора «Кировец» и его агрегатов, взятых с открытых источников, рекламных брошюр.

«Сельскохозяйственный колесный трактор «Кировец» серии К-744 общего назначения тягового класса 5 предназначен для выполнения основных сельскохозяйственных работ: пахоты, культивации, боронования, посева и транспортных работ» [28].

«Представляет собой новое поколение сельскохозяйственных тракторов «Кировец», обеспечивающих в комплекте с широкозахватными орудиями и посевными агрегатами современные технологии агропромышленного производства. Его отличает высокая производительность, экономичность, надежность, совершенный дизайн, комфорт и удобство обслуживания, эффективная и надежная гидравлика» [29].

Шумовиброизолированная кабина со встроенным каркасом безопасности – ROPS (защита от опрокидывания), FOPS (защита от падающих предметов), центральное расположение сиденья оператора, панорамные ветровое и боковые стекла обеспечивают оптимальную обзорность и многое другое, что улучшает условия работы механизатора, и, соответственно, повышает производительность его труда.

Трехконтурная тормозная система – два контура рабочих тормозов, контур стояночного тормоза и прицепов.

Гидросистема с приоритетом подачи рабочей жидкости в систему управления поворотом.

Сварнолистовая рама обеспечивает необходимую прочность остова трактора. Принципиально новое для гидравлики отечественных тракторов решение – применение отработанной конструкции гидрораспределителя BOSCH SB 23 LS – переход на ниппельно-штуцерные соединения с углом конуса 24 град вместо применяемых ранее 74 град – замена большей части труб и части дюритов на рукава высокого давления по DIN 20022 – применение на всех рукавах импортных фитингов (в том числе гнутых, исключаящих необходимость переходных деталей) с резиновым уплотнительным кольцом на ниппеле. Обеспечение надежной работы гидросистем за счет дополнительной установки двух напорных фильтров [10].

Установка карданного вала переднего моста производства фирмы GEWES (Германия). Применение арматуры и пластиковых трубок WABCO обеспечивает высокую герметичность пневмосистемы.

Обеспечение комфорта оператора, на все модели устанавливается кондиционер «Konvekta» (Германия), отопители верхний и нижний, эффективное распределение подаваемых в кабину воздушных потоков. Легкое гидрообъемное рулевое управление на базе гидроруля и приоритетного клапана, снижение усилия на рулевом колесе до максимальной отметки 1,5 Н вместо 6 Н на старых моделях тракторов. Регулируемая по углу наклона и высоте рулевого колеса колонка. Дистанционное переключение режимов КП (джойстик). Легкое тросовое («Телефлекс») управление останом гидрораспределителя [18].

Расширенные технические возможности за счет установки двигателей ЯМЗ номинальной мощностью от 168 до 350 л.с. в зависимости от модели обеспечивает повышенные тяговые характеристики, предоставляет возможность агрегатироваться с широкозахватными орудиями. Техническая характеристика тракторов семейства «Кировец» представлена в таблице 1.

Установка четырехсекционного гидрораспределителя BOSCH SB 23 LS обеспечивает возможность агрегатирования с сельскохозяйственными орудиями, требующими три пары выводов, например с оборотными плугами Lemken с регулируемой шириной захвата, а также установку по отдельному заказу системы позиционного регулирования навесным устройством с электрогидравлическим контролем заданной глубины (EHR). Быстросоединяемые разрывные муфты (типа «Паркер») и специальные переходники обеспечивают возможность агрегатирования с гидросистемой как импортных, так и отечественных сельскохозяйственных орудий. Возможность агрегатирования с прицепами имеющими пневмосистему с одно и двухпроводным приводом.

В дополнительную комплектацию входит защита картера двигателя, механизм отбора мощности с согласованным количеством шлицов на выходном валу, 4 пары выносных линий для гидросистем агрегируемых машин и орудий, комплект для сдваивания колес, маятниковое прицепное устройство.

Таблица 1 – Техническая характеристика тракторов семейства «Кировец»

| Марка трактора | К-744Р | К-744Р | К-744Р | К-701 |
|--|---|-----------|-----------|-----------|
| Тип | Колесный, сельскохозяйственный, общего назначения | | | |
| Тяговый класс | 5 | | | |
| Колесная формула | 4К46 | | | |
| База, мм | 3200 | 3750 | 3750 | 3200 |
| Колея, мм | 2115 | 2100 | 2100 | 2115 |
| Наименьший радиус поворота, м | 7,2 | 7,8 | 7,8 | 7,2 |
| Масса Эксплуатационная, кг | 15080 | 15080 | 15680 | 13700 |
| Топливный бак, л | 640 | 800 | 800 | 640 |
| Распределения массы по осям при передний/задний мост, % | 55/45 | 55/45 | 55/45 | 67,5/32,5 |
| Распределения массы по осям при передний/задний мост, % | 56,6/43,4 | 57,1/42,9 | 57,1/42,9 | 67,5/32,5 |
| «Двигатель ЯМЗ | | | | |
| Марка | 238НД4 | 238НД5 | 8481.10 | 240Б |
| Мощность двигателя эксплуатационная, кВт | 168 | 205 | 235 | 198,5 |
| Номинальная частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹ | 1900 | | | |

Продолжение таблицы 1

| | | | | | |
|----------------------------------|---|---|---------------------------------|----------|------------|
| Марка трактора | | К-744Р | К-744Р | К-744Р | К-701 |
| Удельный расход топлива, г/кВт ч | | 250 | 245 | 240 | 250» [18]. |
| «Трансмиссия | | Механическая, с переключением передач без разрыва потока мощности | | | |
| Дифференциал | | Самоблокирующаяся муфта | | | |
| КПП | | 16 скоростей вперед и 8 назад» [3]. | | | |
| Подвеска | Подмоторного моста | жесткая | рессорная с гидроамортизаторами | жесткая | |
| | Грузового моста | жесткая | | | |
| Механизм навески | | | | | |
| Тяговый крюк | | | | | |
| Прицепная скоба | высота подъема, м | 0,5 | | | |
| | Грузоподъемность навесного устройства, кН | 55 | | | |
| Шины | | 28,1 R26 | 30,5 R32 | 28,1 R26 | |

1.3 Занятость колесных тракторов в составе почвообрабатывающих комплексов

«С целью повышения эффективности использования в различных отраслях хозяйства создаются семейства различных по назначению, мощности и максимально унифицированных между собой тракторов. Для повышения универсальности и годовой занятости конструкция тракторов предусматривает выполнение эксплуатационных переналадок, а также возможность использования сельскохозяйственных тракторов на землеройных, планировочных, погрузочно-разгрузочных и транспортных работах» [30].

«Колесные трактора «Кировец» класса 5 тс (50 кН) агрегируются с машинами, обладающими соответствующим тяговым сопротивлением, используется с широкозахватными агрегатами на вспашке, культивации, бороновании, посеве, лушении стерни, при безотвальной обработке в составе современных технологических, энергосберегающих комплексов» [4].

Состав агрегатов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Агрегаты, применяемые при выполнении сельскохозяйственных работ тракторами «Кировец» [36]

| Вид работ | Агрегируемая сельскохозяйственная машина | Диапазон рабочих скоростей, м/с | Ширина захвата | Количество машин в агрегате |
|--|---|---------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Перевозка сена | Волокуши, стоговозы на санном ходу | 2,2 – 3,1 | – | 1 |
| Транспортировка органических удобрений | Прицеп ОЗТП-8572 | 2,2 – 4,2 | – | 1 |
| Транспортировка лесоматериалов | Тросовая сцепка, подсанки | 1,7 – 3,1 | – | 1 |
| Перевозка сыпучих кормов, строительных и прочих материалов | Прицеп ОЗТП-8572 | 2,5 – 3,6 | – | 1 |
| | 1-ПТС-9 | 2,8 – 6,9 | – | 1 |
| | 1-ПТС-9+3-ПТС-12 | 2,8 – 6,9 | – | 1 |
| Снегозадержание | Сцепка СП-11А+снегопах-валкователь СВУ-2,6; | 2,5 – 3,6 | 7,8 – 10,4 | 3 – 4 |
| Очистка от снега и устройство зимних дорог | Снегопах-валкователь СВШ-10 | 2,2 – 3,1 | 10 | – |
| Вспашка | ПТК-9-35 | 2,2 – 3,3 | 3,15 | 1 |
| | ПН-8-35 | 2,2 – 3,3 | 2,8 | 1 |
| | ПШИ-10-40 | 2,2 – 3,3 | 4 | 1 |
| | ПЧ-4,5 | До 2,2 | 4,5 | 1 |
| | ПЛН-8-40 | До 2,7 | 3,2 | 1 |
| | ПРПВ-8-60 | До 2,7 | 4,8 | 1 |
| Культивация | КТС-10-2 культиватор | До 2,7 | 10 | 1 |
| | КПШ-11 культиватор-плоскорез | До 2,7 | 11 | – |
| | СП-16+КПС-4+6-ЗБСЗ-1 | 2,2 – 3,3 | 12 | 3 |
| | СП-16+КПГ-2,2 | 2,2 – 2,8 | 4,4 | 2 |
| | КПГ-2-150 НАВЕСНОЙ | 2,2 – 2,8 | 1 | – |
| | КПШ-9 | 2,2 – 3,3 | 9 | – |
| | СП-20+КШ-3,6А | 2,2 – 3,3 | 18-21,6 | 5 – 6 |
| | СП-16+КПЭ-3,8 | 2,2 – 2,8 | 11,4-15,2 | 3 – 4 |
| | Лидер 8,5 | 2,2 – 3,3 | 8,5 | – |
| СП-20+АКП-4 | 2,2 – 3,3 | 8-12 | 2 – 3 | |
| Посев | СП-20+СЗП-3,6 | 2,2 – 3,3 | 18 – 21,6 | 5 – 6 |
| | ОБЬ-8-3Т | 1,8 – 2,9 | 8 – 12 | 2 – 3 |
| | СЗР.01000М+СЗС-2,1 | 2,2 – 2,8 | 14 | – |
| | СП-20+СЗ-3,6 | 2,2 – 3,9 | 18 – 21,6 | 5 – 6 |
| | СП-20+СЗУ-3,6 | 2,2 – 3,3 | 18-021,6 | 5 – 6 |
| | ПК-8,5 «Кузбасс» | 2,2 – 3,3 | 8,5 | – |
| | АПП-7,2+СЗП-3,6А | 2,2 – 3,3 | 7,2 | – |
| | 3-АКП-4 Лидер | 2,2 – 3,3 | 12 | – |

Продолжение таблицы 2

| Вид работ | Агрегируемая сельскохозяйственная машина | Диапазон рабочих скоростей, м/с | Ширина захвата | Количество машин в агрегате |
|---|--|---------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Бороны | БДТ-720 | 2,2 – 3,3 | 7,2 | 1 |
| | БДТ-10 | 2,2 – 3,3 | 10 | 1 |
| | БМШ-20 | До 3,3 | 20 | 1 |
| | СГ-21+БЗСС-1 | 2,2 – 3,6 | 21 | 21 |
| | СГ-21+БЗТС-1 | 2,2 – 3,6 | 21 | 21 |
| | СП-20+БИГ-3А | 2,2 – 3,9 | 21 | 7 |
| | КЗБ-21 | До 2,7 | 21 | 21 |
| Луцильник | ЛДГ-20 | 2,2 – 2,8 | 20 | 1 |
| Прицепы разбрасыватели органических удобрений | ПРТ-16 | 2,2 – 2,8 | – | – |
| | РЖТ-16 | 2,2 – 3,3 | – | – |

1.4 Направление энергосберегающего использования агрегатов для обработки почвы

«Проблема ресурсосбережения механизированных работ заключается в правильном выборе технологического процесса и его технического обеспечения. Соблюдение этих требований улучшает энергетические и топливно-экономические показатели МТА, а качественное и своевременное их выполнение влияет на формирование выращиваемого урожая» [9].

«В отечественном и мировом земледелии широкое применение получили новые почвовлагодобывающие технологии, основанные на сокращении обработок почвы, что способствует сохранению плодородия и обеспечивает значительное снижение трудовых и энергетических затрат. Основная экономия ресурсов достигается за счет адаптивной энергосберегающей подготовки почвы к посеву, дифференцированной по глубине и видам ее обработки, позволяющей отказаться от ежегодной вспашки во многих случаях без потери урожайности, заменив ее менее энергоемким безотвальным рыхлением, глубокой культивацией, дискованием, комбинированной обработкой, с одновременным посевом» [10].

«Создание техники для ресурсосберегающих технологий

адаптированной к условиям эксплуатации восстанавливает плодородие почвы, снижает или полностью исключает ее ветровую или водную эрозию. Применение в Сибири новых комбинированных многофункциональных машин АКП-4 «Лидер», «Обь-4», «Лидер-С» ПК-8,5 «Кузбас», АПП-7,2+СЗП-3,6А позволяет повысить от 15 до 20 % урожайность, снизить от 30 до 45 % расход топлива и затраты труда от 60 до 80 %» [10].

Использование этих машин в Сибири, обусловлено также и проблемой влагосбережения так как осадки выпадают с крайне неравномерным распределением, в мае и июне их всегда недостаток, а в августе и сентябре избыток.

Чтобы прекратить разрушение земель и восстановить их плодородие, предлагается внедрить ресурсосберегающие почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных растений, основанные на двух главных принципах: соблюдение основных объективных законов земледелия; использование комбинированных почвообрабатывающих агрегатов нового поколения, при этом обеспечивается: повышение производительности труда; экономия рабочей силы, оборудования, топлива; уменьшение механического воздействия на почву ходовыми системами тракторов; оперативность полевых работ при высоком качестве их выполнения; повышение урожайности сельскохозяйственных культур; защита почвы от водной и ветровой эрозии; повышение плодородия почвы.

В итоге, сельскохозяйственное производство становится стабильным, менее затратным и менее зависимым от стихийных сил природы.

1.5 Выводы и задачи дипломного проекта

На основании изучения состояния вопроса по улучшению тягово-сцепных свойств трактора «Кировец» на снежной целине, оценки количественного и качественного состава тракторного парка, занятости его на зимних работах и направление адаптации к зимним условиям, необходимо

решить следующие задачи:

- проанализировать основные факторы, определяющие эффективность использования колесных тракторов общего назначения с учетом зональных условий;
- обосновать рациональные параметры и режимы работы тракторов «Кировец» в составе почвообрабатывающих агрегатов;
- провести патентные исследования существующих устройств по изменению (регулированию) давления в шинах и с учетом их достоинств и недостатков, обосновать свою схему системы регулирования давления воздуха в шинах трактора;
- конструктивно разработать устройство системы регулирования, обосновать принцип работы и рассчитать его элементы;
- дать технико-экономическое обоснование рациональных параметров и режимов работы почвообрабатывающих агрегатов.

2 Результаты исследования эффективных режимов работы тракторов «Кировец»

2.1 Оценка тягово-сцепных свойств колесного трактора К-701

«По результатам эксплуатации и лабораторно-полевых испытаний трактора К-701 с одинарными и сдвоенными колесами установлены основные рабочие передачи (1-3, II-III режимов) в составе почвообрабатывающих комплексов, обеспечивающие диапазон тяговых усилий от 39 до 60 кН при скоростях движения от 2 до 3 м/с и тяговой мощности от 105 до 120 кВт» [12].

«По результатам лабораторно-полевых экспериментов [12, 24] получены усредненные значения коэффициентов a и b уравнения регрессии, связывающего коэффициенты использования веса трактора и буксования при установленных значениях давления в шинах ФД-12(28,1R26) и коэффициента сопротивления перекатыванию трактора на различных фонах» [24].

В таблице 3 представлены соответствующие коэффициенты.

Таблица 3 – Коэффициенты уравнения буксования, сцепления и сопротивления перекатыванию трактора К-701 [36]

| Фон | Коэффициент | | | Давление в шинах, перед/зад, МПа | |
|--------------------------------|-------------|-----------|-----------------------------|----------------------------------|-----------|
| | буксования | сцепления | сопротивления перекатыванию | | |
| Стерня | 0,110 | 0,773 | 0,53 | 0,10 | 0,14/0,14 |
| Поле, подготовленное под посев | 0,086 | 0,640 | 0,56 | 0,16 | 0,14/0,13 |

Полученные уравнения протабулированы при различных сочетаниях коэффициента использования веса и сопротивления перекатыванию, что позволило определить максимальные значения коэффициента сцепления, соответствующие допустимому буксованию трактора и установить графические зависимости буксования от коэффициента использования веса на указанных фонах (рисунок 3).

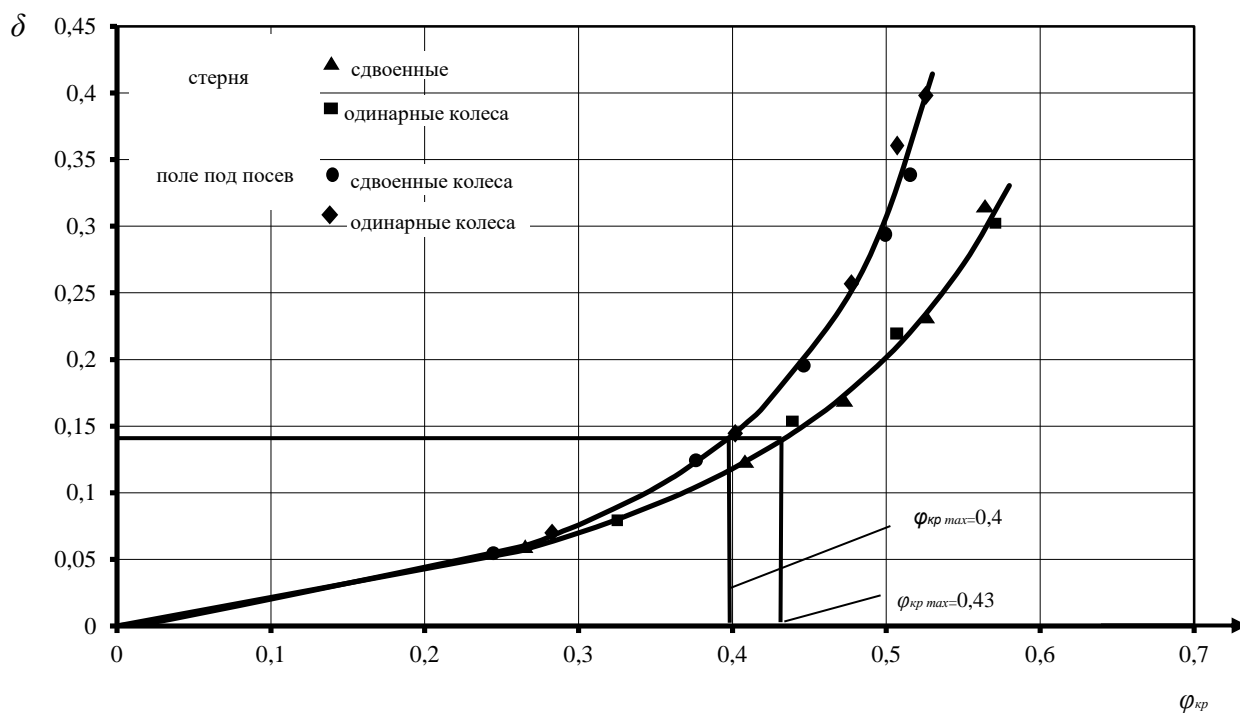


Рисунок 3 – Зависимости буксования от коэффициента использования веса трактора К-701

«При движении трактора возникают поля нормальных и касательных напряжений распространяющихся на глубину и в разные направления от места приложения нагрузки. От способности почвы выдерживать такие нагрузки зависит глубина колеи, а, следовательно, сопротивление передвижению и сцепные свойства. При значительной плотности почвы (стерня, целина) на образование сцепления, а, следовательно, и на тягообразование существенно влияет сила трения между почвой и опорными поверхностями шины или почвозацепов. При уменьшении плотности почвы глубина проникновения в нее почвозацепов увеличивается, вследствие чего на тягообразование значительнее влияют сила зацепления, возникающая при упоре почвозацепов в почву и сила, действующая в плоскости среза брусков почвы между почвозацепами. В силу указанных причин максимальное значение коэффициента сцепления, определяющее величину касательной силы тяги при допустимом буксовании, несколько меньше (0,53) на стерне чем на поле, подготовленном под посев.

Однако разница коэффициентов сцепления и сопротивлению перекачиванию при этом существенно выше из-за меньших потерь на колеобразование трактора в режиме рабочего хода. При этом зависимости буксования от коэффициента использования веса тракторов с одинарными и двояными колесами на соответствующих фонах практически одинаковые» [24].

Это подтверждают результаты, выполненных ранее исследований [12] и позволяет использовать полученные характеристики для оценки тягово-сцепных свойств тракторов с разными массоэнергетическими параметрами.

«Анализ результатов расчета тягового КПД на основе полученных кривых буксования и коэффициентов и тягового КПД показал, что функция зависимости тягового КПД от коэффициента использования веса трактора практически не зависит от класса трактора, а определяется его конструктивными особенностями и почвенным фоном» [24].

Представленные на рисунке 4 характеристики позволили установить максимальные значения коэффициента тягового КПД и допустимые по буксованию значения тягового КПД, которые определяют оптимальную величину коэффициента использования веса и соответствующий диапазон изменения коэффициента использования веса трактора 4×4 (таблица 4).

Таблица 4 – Рациональные диапазоны изменения коэффициента использования сцепного веса трактора 4×4 [35]

| Фон | Коэффициента использования веса | | | Буксование, % | | Коэффициент тягового КПД | | |
|----------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------------|---------------|-------------|
| | $\varphi_{кр. opt}$ | $\varphi_{кр min}$ | $\varphi_{кр max}$ | δ_{opt} | δ_{min} | η_{Tmax} | η_{Tmin} | η_{Td} |
| Стерня | 0,37 | 0,29 | 0,43 | 10,1 | 6,6 | 0,61 | 0,60 | 0,60 |
| Поле под посев | 0,36 | 0,30 | 0,40 | 11,5 | 8,7 | 0,53 | 0,52 | 0,52 |

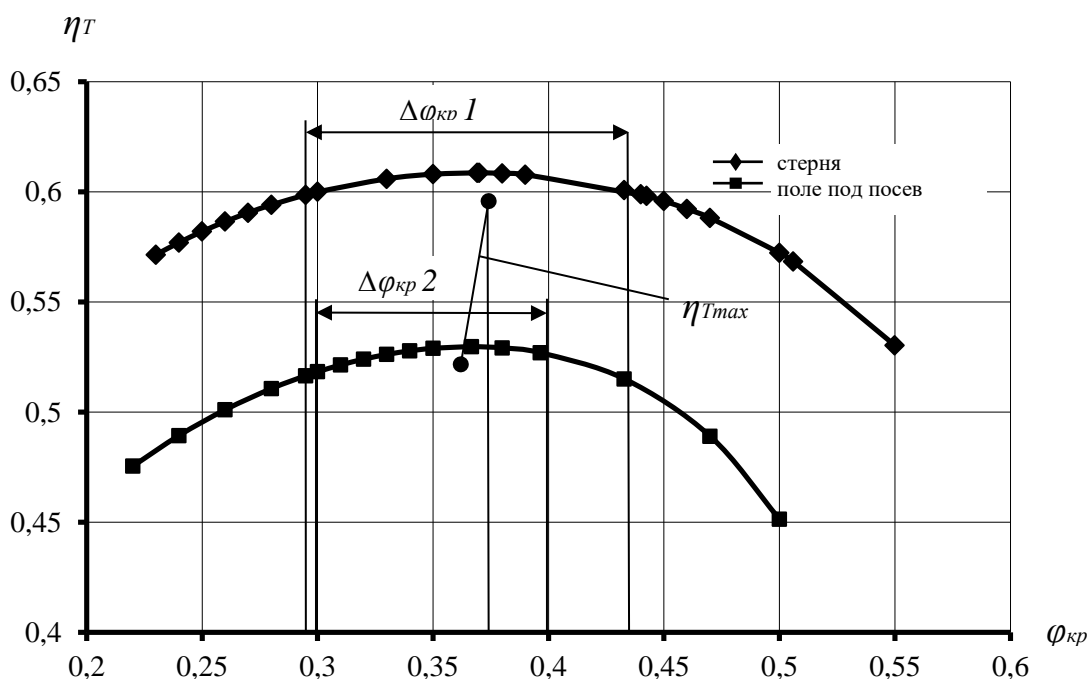


Рисунок 4 – Зависимость тягового КПД от коэффициента использования веса трактора

«Анализ результатов расчета эксплуатационных показателей трактора с одинарными и сдвоенными колесами при разных коэффициентах использования мощности двигателя (таблицы 5, 6) показал достаточные резервы повышения эффективности энергонасыщенных тракторов тяговой концепции существующих компоновочных схем, реализация которых может стать наиболее экономичным решением проблемы повышения производительности почвообрабатывающих агрегатов» [12].

Таблица 5 – Эксплуатационные параметры и режимы трактора К-701

| Фон | ξ_N | $m_э$, кг | Э, кВт/Т | $P_{кр\text{ орб}}$ кН | $P_{кр\text{ max}}$ кН | Оптимальная скорость, м/с | |
|----------------|---------|------------|----------|------------------------|------------------------|---------------------------|------|
| Стерня | 1,0 | 13700 | 14,5 | 49,62 | 58,17 | 2,43 | 2,05 |
| | 0,95 | | | | | 2,31 | 1,94 |
| | 1,0 | 15600 | 12,7 | 56,50 | 66,24 | 2,14 | 1,80 |
| | 0,95 | | | | | 2,02 | 1,71 |
| Поле под посев | 1,0 | 13700 | 14,5 | 49,28 | 53,28 | 2,13 | 1,96 |
| | 0,95 | | | | | 2,026 | 1,84 |
| | 1,0 | 15600 | 12,7 | 56,11 | 60,67 | 1,87 | 1,72 |
| | 0,95 | | | | | 1,77 | 1,63 |

Таблица 6 – Влияние агрофона на эксплуатационные параметры трактора

| Показатели | Агрофон | | | |
|--|---------|-------|--------------------------------|-------|
| | стерня | | поле, подготовленное под посев | |
| | 1 | 0,95 | 1 | 0,95 |
| $\varphi_{кopt}$ | 0,47 | 0,47 | 0,52 | 0,52 |
| $\varphi_{кmax}$ | 0,53 | 0,53 | 0,56 | 0,56 |
| $(\mathcal{E}/(g \cdot V_T))_{opt}$ | 0,606 | 0,606 | 0,692 | 0,692 |
| $(\mathcal{E}/(g \cdot V_T))_{max}$ | 0,720 | 0,720 | 0,752 | 0,752 |
| $V_{Topt}^o = (V_{Ti} / V_{Tmin})_{opt}$ | 1,15 | 1,14 | 1,0 | 1,0 |
| $V_{Td}^o = (V_{Ti} / V_{Tmin})_d$ | 1,045 | 1,045 | 1,0 | 1,0 |

«Для изменения энергонасыщенности необходимо увеличить оптимальную рабочую скорость на поле под посев или уменьшить эксплуатационную массу трактора.

Полученные характеристики тягово-сцепных свойств (рисунок 5) свидетельствуют о целесообразности использования трактора «Кировец» переменной массы в составе почвообрабатывающих агрегатов на фонах высокой прочности с максимальным балластированием. На фонах низкой прочности и несущей способности наивысшая эффективность достигается при минимальной эксплуатационной массе энергетического средства» [24].

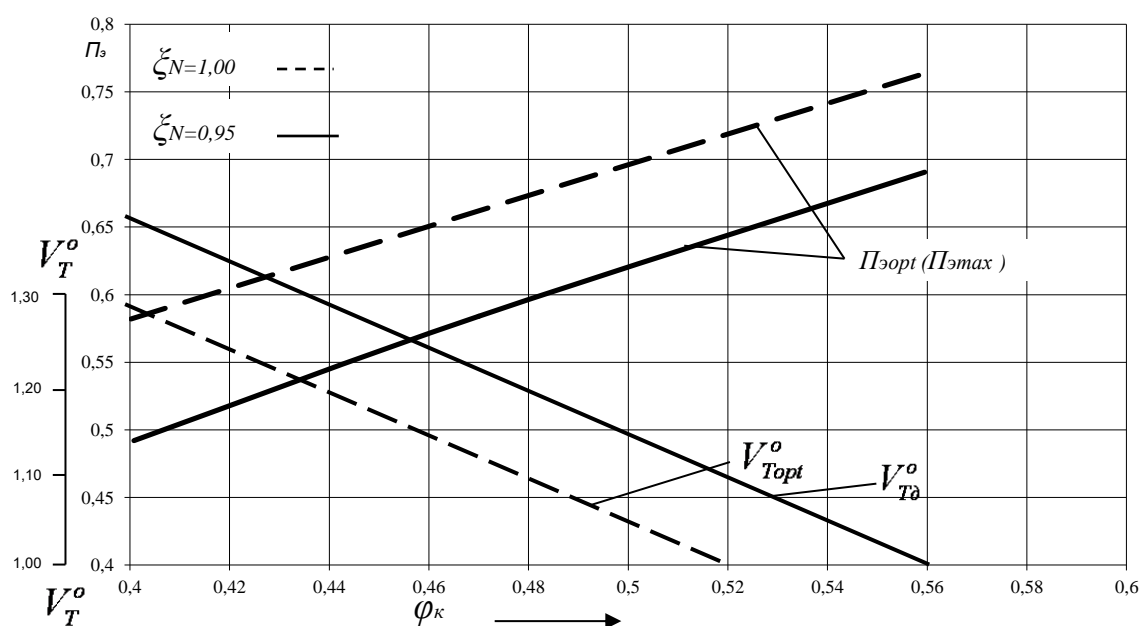


Рисунок 5 – Изменение показателей $P_э$ и V_T^o от сцепных свойств трактора

«Значение $\varphi_{крн} = (\varphi_{кн} - f)$, соответствующее номинальному тяговому усилию трактора должно находиться в диапазоне $\varphi_{крор1} \leq \varphi_{крн} \leq \varphi_{кр\max}$. С учетом того, что максимум производительности МТА на базе трактора с обычной характеристикой дизеля смещен относительно $\eta_{T\max}$ в сторону больших тяговых усилий, с целью наиболее полного использования потенциальных возможностей энергетического средства целесообразно ориентироваться на $\varphi_{кр\max}$. Это создает определенный резерв для реализации роста энергонасыщенности трактора.

На почвах низкой прочности значения оптимального коэффициента использования веса стремиться к его максимальным значениям, что еще более подтверждает целесообразность указанного выше принципа определения рациональных режимов работы трактора в составе тяговых почвообрабатывающих агрегатов» [24].

2.2 Зависимость вертикальных нагрузок на ведущих мостах от тягового усилия тракторов «Кировец»

На тягово-цепные качества проходимости трактора «Кировец» при работе с различными сельскохозяйственными орудиями оказывает влияние перераспределение вертикальных нагрузок и крутящих моментов на ведущих мостах в зависимости от развиваемой трактором касательной силы тяги в конкретных условиях эксплуатации.

Изменение вертикальных нагрузок на ведущих мостах от касательной силы тяги существенно влияет на тягово-цепные показатели трактора. Если передние колеса разгружаются, то задние нагружаются, то есть происходит перераспределение веса по осям. Для получения уравнения моментов, обобщающих проведенные полевые эксперименты, выполнены численные расчеты с использованием зависимости вертикальной нагрузки на задний и передний от касательной силы тяги:

$$\gamma_{\Pi} = \left[\frac{(G_{\text{э}} \cdot a_{\text{ц}}) - (P_{\text{к}} \cdot h_{\text{кп}}) - M_f}{L} \right], \quad (1)$$

$$\gamma_3 = \left[\frac{(G_{\text{э}} \cdot (L - a_{\text{ц}})) - (P_{\text{к}} \cdot h_{\text{кп}}) - M_f}{L} \right], \quad (2)$$

где $G_{\text{э}}$ – эксплуатационный вес трактора, кН;

$a_{\text{ц}}$ – расстояние от центра тяжести трактора до заднего колеса, м;

$h_{\text{кп}}$ – ордината точки прицепа, м;

M_f – момент сопротивления качения трактора, определяется по формуле (3);

L – продольная база трактора, м.

$$M_f = \gamma_{\Pi} \cdot a_{\Pi} + \gamma_3 \cdot a_3, \quad (3)$$

где a – смещение опорных реакций при движении трактора, м.

Схема сил действующих на трактор в общем случае движения представлена на рисунке 6.

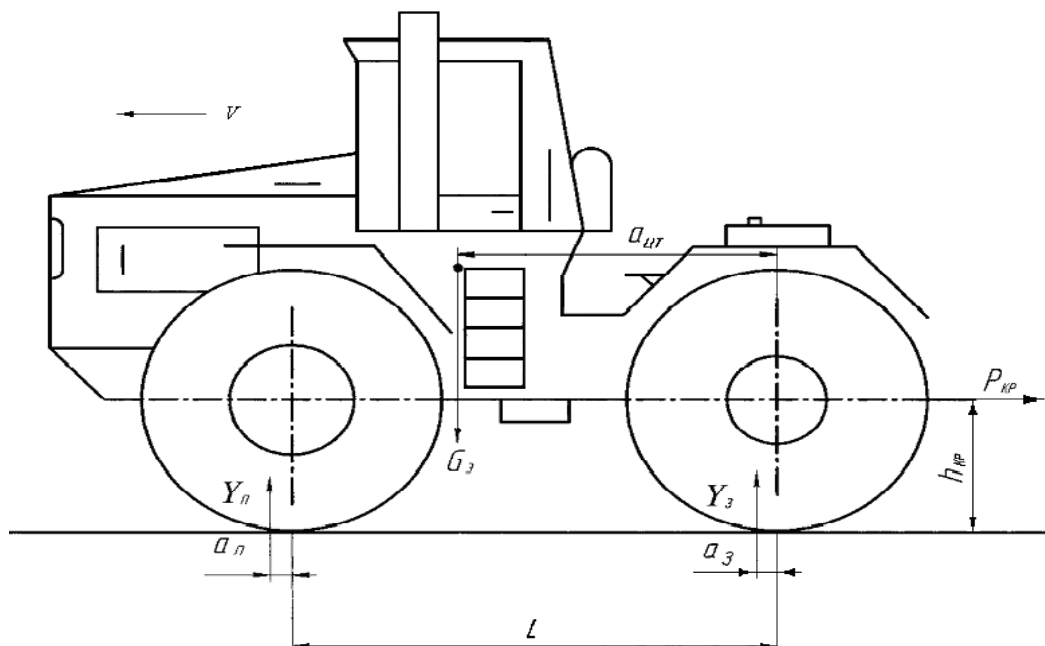
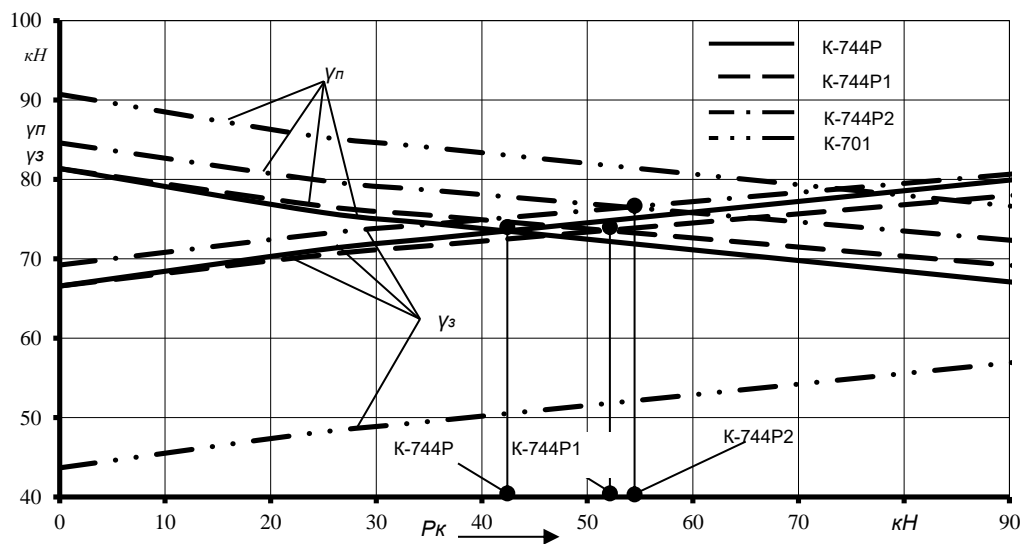


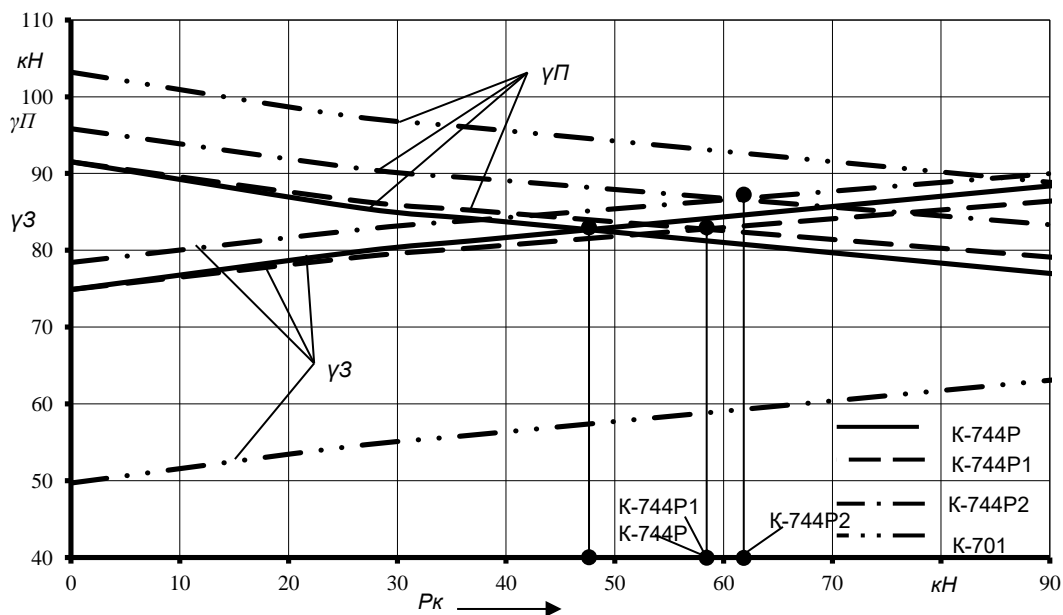
Рисунок 6 – Схема сил действующих на трактор в общем случае движения

Полученные уравнения моментов позволяют анализировать изменение вертикальных нагрузок и крутящих моментов на ведущих мостах трактора в зависимости от развиваемой силы тяги с погрешностью до 5%.

На рисунке 7 представлено изменение вертикальных нагрузок на ведущих мостах от касательной силы тяги трактора при ($m_{\text{э}}=max$) на стерне.



а)

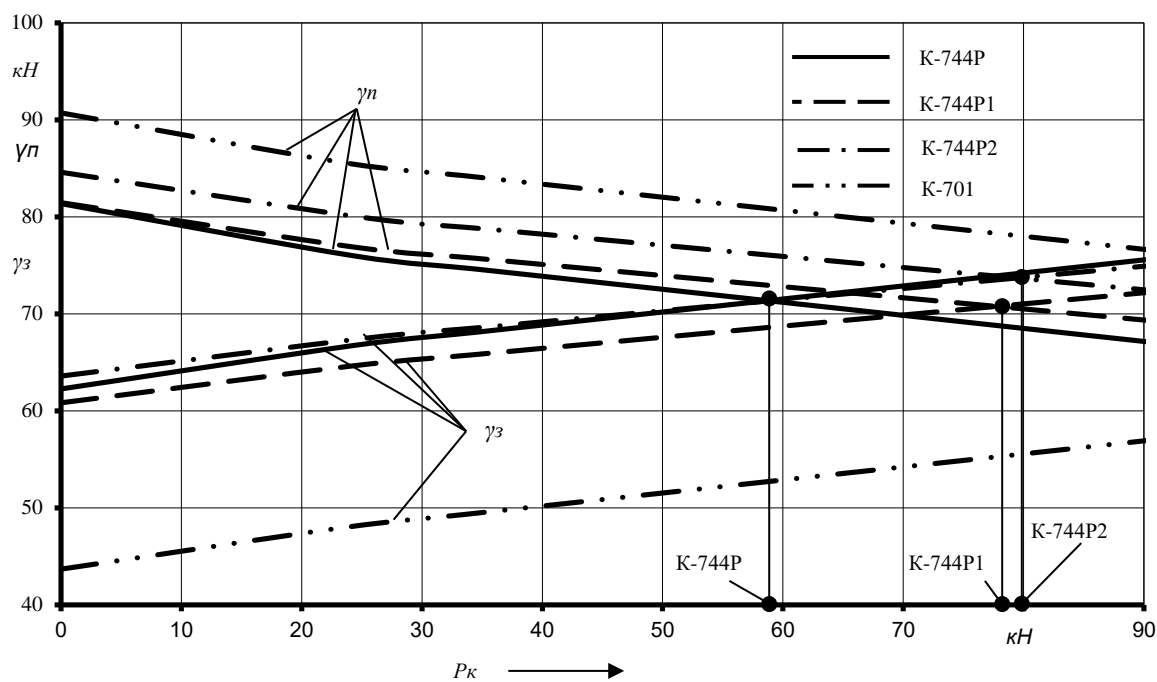


б)

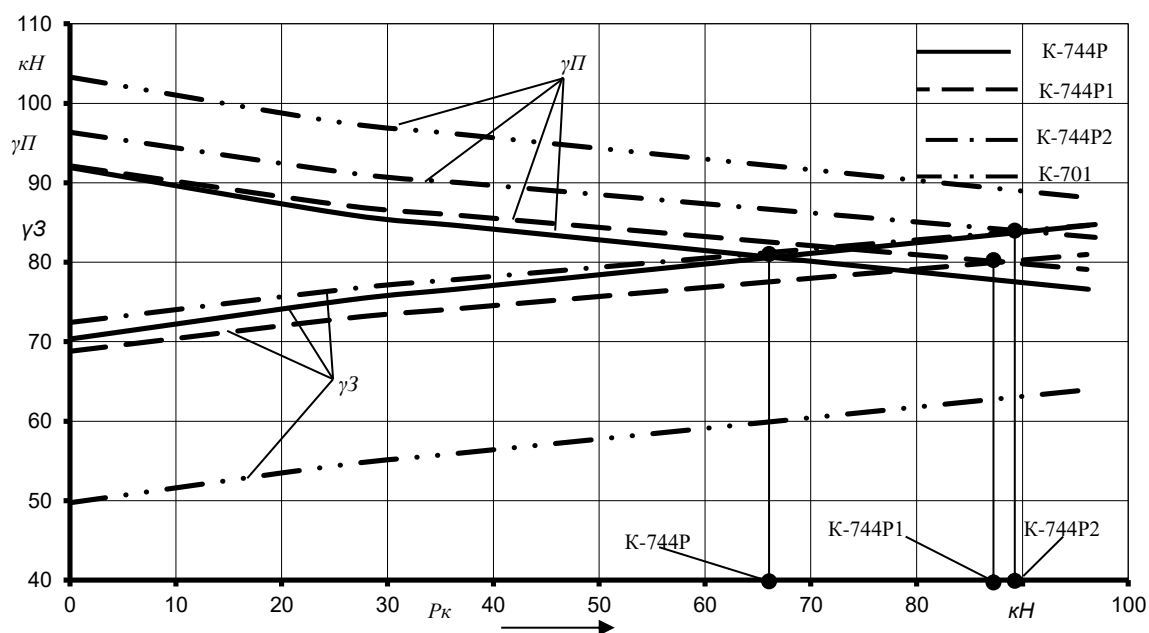
а) стерня с одинарными колесами; б) стерня со сдвоенными колесами

Рисунок 7 – Изменение вертикальных нагрузок на ведущих мостах от касательной силы тяги трактора при ($m_{\text{э}}=max$) на стерне

На рисунке 8 представлено изменение вертикальных нагрузок на ведущих мостах от касательной силы тяги трактора при ($m_{\text{э}} = \min$) на стерне.



а)



б)

а) стерня с одинарными колесами; б) стерня со сдвоенными колесами

Рисунок 8 – Изменение вертикальных нагрузок на ведущих мостах от касательной силы тяги трактора при ($m_{\text{э}} = \min$) на стерне

Анализ проведенных результатов моделирования и эксперимента для трактора К-701 с распределением веса по осям $\gamma_{\Pi_0} / \gamma_{3_0} = 0,675/0,325$ при $P_K=0$ показал, что выравнивание нормальных реакций γ_{Π_0} и γ_{3_0} в рациональном тяговом диапазоне (50-60 кН) не достигается. Соотношение γ_{Π} / γ_3 в среднем 0,59/0,41, что явно недостаточно. Установка сдвоенных колес ситуации особенно не меняет. Поэтому достигнуть кинематического соответствия между определенными скоростями передних V_{Π} и задних V_3 колес можно изменением радиусов качения, а так же максимально возможным подъемом прицепной скобы от поверхности поля $h_{KP}=0,5$ м, что повышает выравнивание нормальных реакций в рациональном тяговом диапазоне до 0,54/0,46.

У тракторов К-744, для $\gamma_{\Pi_0}/\gamma_{3_0}=0,55/0,45$ при $m_{\text{Э max}}$ и $\gamma_{\Pi_0}/\gamma_{3_0}=0,57/0,43$ при $m_{\text{Э min}}$ выравнивание нормальных реакций γ_{Π_0} и γ_{3_0} достигается (К-744Р1) при P_{KP} (25-30 кН), P_{KP} (38-41 кН), (К-744Р1/ Р2) при P_{KP} (63-50кН), P_{KP} (53-73 кН) соответственно, что обеспечивает лучшее кинематическое соответствие переднего и заднего ведущих мостов указанных тракторов, однако в рациональных тяговых диапазонах также имеется кинематическое несоответствие при $m_{\text{Э max}}$, соотношение γ_{Π} / γ_3 в среднем 0,47/0,53

В рациональном тяговом диапазоне выравнивание нормальных реакций у тракторов (К-744Р1/Р2) достигается при $m_{\text{Э min}}$ $P_{KPOpt} \leq P_{KP} (\gamma_{\Pi} = \gamma_3) \leq P_{KPmax}$ обеспечивая повышение степени использования потенциальных возможностей трактора.

«Среди различных способов, применяемых для повышения тяговых качеств колесных тракторов, одним из наиболее эффективных является компоновка их по схеме 4×4 с использованием всех колес в качестве ведущих.

Однако наилучшие тяговые показатели трактора не достигаются вследствие всегда имеющегося некоторого кинематического несоответствия между передними и задними колесами. При прямолинейном движении кинематическое несоответствие выражается в том, что теоретические

окружные скорости передних и задних колес могут несколько различаться между собой, в то время как оси этих колес, будучи жестко связаны с остовом трактора, должны двигаться с одинаковыми поступательными скоростями.

Обеспечить совершенную идентичность окружных скоростей передних и задних колес практически невозможно, так как размеры радиусов колес могут отклоняться от своих расчетных значений в ту или другую сторону, в зависимости от разнообразных факторов, степени изношенности протекторов, величины давления воздуха в шинах и особенно существенно в результате изменении действующих на колеса нормальных нагрузок» [28].

«Наилучшие тяговые показатели трактора колесной формулы 4К46 могли бы быть получены при равенстве окружных скоростей передних и задних колес. В этом случае передние и задние колеса работали бы с одинаковым буксованием и их сцепные качества были бы использованы в равной степени.

Наличие кинематического несоответствия колес ухудшает тяговые показатели трактора. Если в результате кинематического несоответствия передние и задние колеса работают с разным буксованием, то сцепные качества отстающих колес используются в меньшей степени, чем сцепные качества забегающих колес. Чем больше кинематическое несоответствие, тем неравномерное используются сцепные качества колес обеих осей. Наиболее отрицательно влияет на тяговые показатели трактора скольжение отстающих колес. В этом случае ведущими фактически остаются только два колеса, так как скользящие колеса становятся ведомыми» [28].

Для получения наибольшей эффективности применения тракторов «Кировец» необходимо обеспечить кинематическое соответствие между окружными скоростями передних V_1 и задних V_2 ведущих колес. Решение такой задачи возможно путем подбора соответствующего давления воздуха в шинах с учетом конструктивных особенностей трактора (распределение веса по мостам 55/45(К-744) и 67,4/32,6 (К-701)) и условий его эксплуатации (почвенный фон, силовое воздействие прицепов или сельскохозяйственных

орудий и другое). Решение сводится к тому, чтобы при соответствующих условиях работы трактора имело место равенство радиусов качения передних r_{k1} и задних r_{k2} ведущих колес, что особенно важно при установке сдвоенных колес из-за циркуляции мощности между ними.

Количественная оценка выполнения данного условия проверяется величиной коэффициента кинематического несоответствия K :

$$K = \frac{v_2 - v_1}{v_2} = 1 - \frac{r_{k1}}{r_{k2}}. \quad (4)$$

При $r_{k1}=r_{k2}$ $K=0$, то есть имеет место полное кинематическое соответствие. Если $r_{k1}>r_{k2}$, то $K<0$, в этом случае забегающими будут передние колеса. При $r_{k1}<r_{k2}$ $K>0$ забегающими являются задние колеса (передние будут скользящими), что и имеет место у трактора К-701 при движении с малыми нагрузками на твердых фонах.

При давлении воздуха в шинах, рекомендуемом «Руководством по эксплуатации трактора К-701», то есть в передних шинах 0,17 МПа и в задних 0,16 МПа, на передних колесах возникает отрицательный крутящий момент, достигающий величины от 0,3 до 1,5 кНм. В таком случае отключение заднего моста приводит к устранению кинематического несоответствия и, как следствие, к повышению тягового КПД от 2 до 6 %. Тем не менее, при нагрузках трактора более 12 кН работа должна производиться во всех случаях с обоими ведущими мостами, а для уменьшения вредного влияния кинематического несоответствия необходимо подбирать оптимальное давление воздуха в шинах с тем, чтобы в зоне номинальных нагрузок происходило примерное выравнивание радиусов качения колес.

В исследованиях радиусы качения колес трактора К-701 определялись как отношение пройденного пути S к количеству сделанных оборотов [5, 12]:

$$r_{K1(2)} = \frac{S}{2\pi n_{K1(2)}} \quad (5)$$

Здесь и далее индекс 1 относится к передним колесам, а индекс 2 к задним колесам трактора.

Коэффициент тангенциальной эластичности шин 28.1 R26 и 30,5 R32 подсчитывался по формуле:

$$\lambda = \frac{r_{01(2)} - r_{K1(2)}}{M_{K1(2)}} \quad (6)$$

где $r_{01(2)}$ и $r_{K1(2)}$ – радиусы качения колес соответственно для ведомого и ведущего режимов;

$M_{K1(2)}$ – крутящий момент, подводимый к соответствующему колесу, кНм.

В частности, при движении трактора с номинальной тяговой нагрузкой по асфальту с буксованием $\delta=0,05$ коэффициент $\lambda=0,0043$ м/кНм. При расчетных исследованиях радиусы r_{K1} и r_{K2} в ведущем режиме определялись по формуле академика Е. А. Чудакова:

$$r_{K1(2)} = r_{01(2)} - \lambda M_{K1(2)} \quad (7)$$

Функциональная связь радиуса колеса $r_{01(2)}$ с давлением воздуха в шине $p_{Ш1(2)}$ и вертикальной нагрузкой на колесо производилась по формуле В. А. Петрушева:

$$r_{01(2)} = r_{C1(2)} \frac{r_{C1(2)} P_{Ш1(2)} + v_1 G_{K1(2)}}{r_{C1(2)} P_{Ш1(2)} + v_2 G_{K1(2)}} \quad (8)$$

где $r_{C1(2)}$ – свободный радиус переднего (заднего) колеса, м;

$P_{ш}$ – давление воздуха в шине соответствующего колеса, МПа;

v_1, v_2 – константы, характеризующие указанные шины.

Расчеты показали, что при нормальной нагрузке в эксплуатационных пределах изменением давления воздуха в шинах 28,1 R26 и 30,5 R32 можно получить изменение радиуса качения в ведомом режиме до 4%.

Результаты расчетно-экспериментальных исследований представлены на рисунке 9 и в таблице 7, пользуясь которыми, можно подобрать оптимальное давление воздуха в шинах задних ведущих колес, выбрав предварительно давление воздуха для шин передних колес. При этом необходимо знать состав агрегата, а, следовательно, и нормальную нагрузку на колеса условия работы.

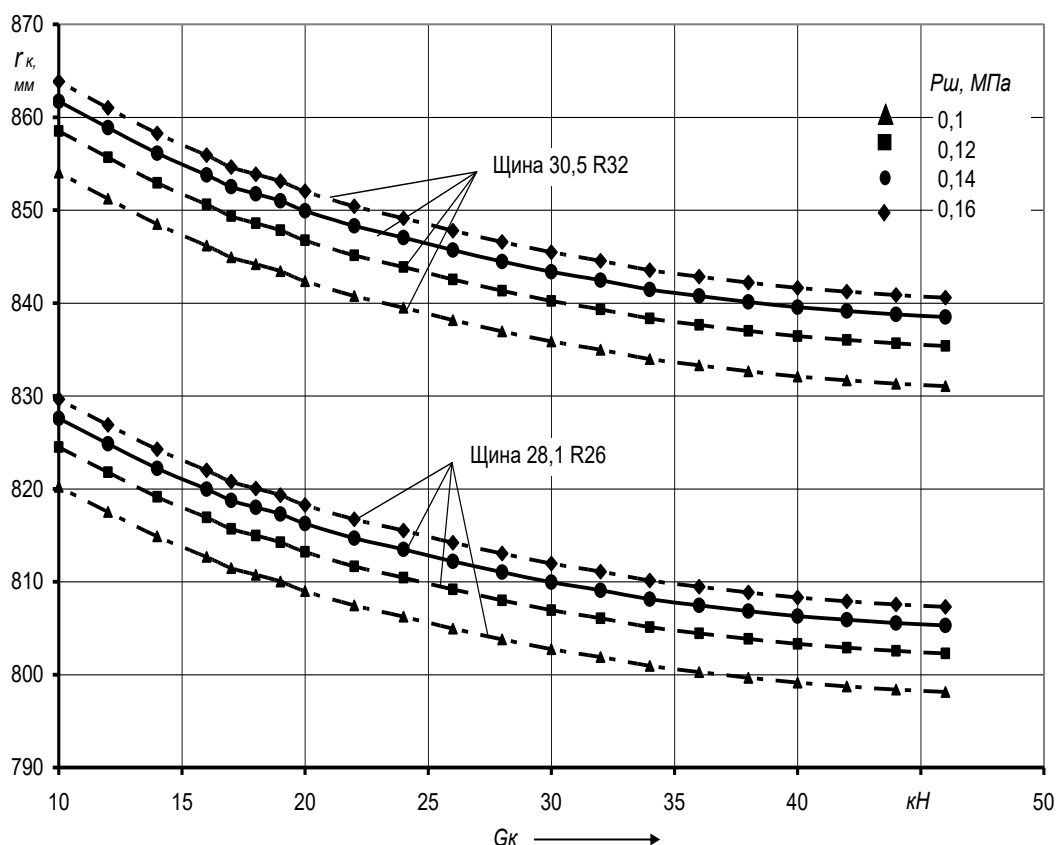


Рисунок 9 – Зависимость радиуса качения ведущего колеса трактора от давления воздуха в шине 28,1 R26 и 30,5 R32 и нормальных нагрузок

Таблица 7 – Оптимальные значения тяговых усилий и давления в шинах

| Марка трактора и шины | Масса, т | Эффективность, Вт/кг | Фон | Передача / режим | Давление в шинах, перед/зад МПа |
|-----------------------|----------|----------------------|----------------|------------------|---------------------------------|
| К-701 28,1R26 | 13,70 | 14,5 | стерня | II / 2 | 0,14 / 0,11 |
| | | | | II / 3 | |
| | | | | III / 2 | |
| | | | поле под посев | II / 2 | 0,11 / 0,09 |
| | | | | II / 3 | |
| | | | | III / 2 | |
| К-701Б 28,1R26 | 15,60 | 12,7 | стерня | II / 2 | 0,14 / 0,11 |
| | | | | III / 1 | |
| | | | | III / 2 | |
| | | | поле под посев | III / 1 | 0,12 / 0,09 |
| | | | | III / 2 | |
| | | | | II / 2 | |
| К-744Р 28,1R26 | 15,08 | 11,1 | стерня | II / 1 | 0,13 / 0,14 |
| | | | | II / 2 | |
| | | | | III / 1 | |
| | | | поле под посев | II / 1 | 0,11 / 0,12 |
| | | | | II / 2 | |
| | | | | III / 1 | |
| К-744РБ 28,1R26 | 16,98 | 9,9 | стерня | II / 1 | 0,11 / 0,12 |
| | | | | II / 2 | |
| | | | | III / 1 | |
| | | | поле под посев | II / 1 | 0,11 / 0,12 |
| | | | | II / 2 | |
| | | | | III / 1 | |
| К-744Р1 28,1R26 | 15,08 | 13,6 | стерня | II / 2 | 0,13 / 0,13 |
| | | | | II / 3 | |
| | | | | III / 2 | |
| | | | поле под посев | III / 1 | 0,11 / 0,11 |
| | | | | III / 2 | |
| | | | | II / 2 | |
| К-744Р1Б 28,1R26 | 16,98 | 12,1 | стерня | III / 1 | 0,11 / 0,11 |
| | | | | II / 1 | |
| | | | | II / 2 | |
| | | | поле под посев | II / 1 | 0,11 / 0,11 |
| | | | | II / 2 | |
| | | | | III / 1 | |
| К-744Р2 30,5 R32 | 15,68 | 15,0 | стерня | III / 2 | 0,13 / 0,13 |
| | | | | II / 2 | |
| | | | | II / 3 | |
| | | | поле под посев | II / 2 | 0,09 / 0,09 |
| | | | | II / 3 | |
| | | | | III / 2 | |
| К-744Р2Б 30,5 R32 | 17,78 | 13,2 | стерня | III / 1 | 0,11 / 0,11 |
| | | | | III / 2 | |
| | | | | II / 2 | |
| | | | поле под посев | II / 1 | 0,09 / 0,09 |
| | | | | II / 2 | |
| | | | | III / 1 | |

При работе на асфальте на шинах с давлением на передней оси 0,17 МПа на задней оси – 0,14 МПа. При работе только с прицепом ЗПТС-12 давление воздуха в шинах должно устанавливаться соответственно на тракторе К701 0,16 и 0,12 МПа, соответственно. При работе с сельскохозяйственными орудиями в шинах колес с учетом твердости и влажности почвы должно устанавливаться рекомендуемое давление. На тракторах К744Р/Р2 при выполнении транспортных работ вследствие относительно небольших тяговых сопротивлений давление для шин 30,5 R32 должно составлять 0,17 и 0,15 МПа. Соблюдение указанных рекомендаций позволяет повысить тяговый КПД тракторов «Кировец» в зависимости от агрегата и условий работы от 10 до 15 % и снизить расход топлива соответственно от 5 до 7 %.

2.3 Потенциальные возможности энергонасыщенных колесных тракторов на различных фонах

«Эффективное использование мощности путем применения комбинированных агрегатов с активными и пассивными рабочими органами на данном этапе не является кардинальным решением, поскольку они мало распространены и применение их зачастую повышает энергоемкость выполнения работ. Поэтому наибольшие резервы роста производительности МТА связаны с переходом к тракторам тягово-энергетической и энергетической концепции. Однако возможности тяговой концепции имеют достаточные резервы использования энергонасыщенных тракторов существующих компоновочных схем, реализация которых может стать наиболее экономичным решением проблемы повышения производительности МТА» [15].

В этой связи рассмотрены возможности повышения эффективности использования мобильного энергетического средства тяговой концепции путем изменения массоэнергетических параметров колесных тракторов класса 5 семейства «Кировец» (таблица 8).

Таблица 8 – Эксплуатационные параметры и режимы тракторов тягово-энергетической концепции семейства «Кировец» (фон-стерня зерновых)

| Марка трактора | Масса, кг | Мощность, кВт | Эффективность, кВт/т | Скорость, м/с | |
|----------------|-----------|---------------|----------------------|---------------|------------|
| | | | | Оптимальная | Допустимая |
| К-744Р | 15080 | 168 | 11,14 | 1,87 | 1,57 |
| К-744РБ | 16980 | 168 | 9,89 | 1,66 | 1,39 |
| К-744Р1 | 15080 | 205 | 13,59 | 2,28 | 1,92 |
| К-44Р1Б | 16980 | 205 | 12,07 | 2,03 | 1,71 |
| К-744Р2 | 15680 | 235 | 14,98 | 2,52 | 2,12 |
| К-744Р2Б | 17780 | 235 | 13,22 | 2,22 | 1,87 |
| К-701 | 13700 | 198,5 | 14,49 | 2,43 | 2,05 |
| К-701Б | 15600 | 198,5 | 12,72 | 2,14 | 1,80 |

«В рамках тяговой концепции определяющим параметром трактора является номинальное тяговое усилие, в соответствии с которым формируется шлейф машин для энергетического средства определенного тягового класса. Стабильность этого параметра сохраняется при разных уровнях энергонасыщенности и является основополагающей в существующей системе построения типажа и агрегатирования тракторов.

Величина номинального тягового усилия находится в диапазоне между значениями $P_{кр\ opt} - P_{кр\ max}$, соответствующими максимальному тяговому КПД по ГОСТ 24096-80 и допустимому пределу буксования. Верхняя граница этого диапазона соответствует $P_{кр\ max}$, ограничивающему тяговые показатели по сцеплению.

Учитывая смещение максимума производительности МТА относительно максимального тягового КПД в сторону $P_{кр\ max}$, для более полного использования потенциальных возможностей трактора следует ориентироваться на это значение тягового усилия, что создает определенный резерв для реализации роста энергонасыщенности» [9].

При ограничении тяговых показателей трактора величиной $P_{кр\ max}$ используемая мощность снижается пропорционально уменьшению рабочей скорости:

$$\frac{P_{kp \max}}{\eta_T} V_{\min} = N_e \leq \frac{P_{kp \max}}{\eta_T} V_o = N_{e\partial}. \quad (9)$$

В соответствии с этим недоиспользование мощности серийного трактора К-744Р имеет место на скоростях ниже 1,57 м/с.

«При наложении на потенциальную тяговую характеристику диапазонов рабочих скоростей МТА, удовлетворяющих агротребованиям установлено, что наиболее энергоемкие тяговые операции (ярусная вспашка, глубокое рыхление, мелиоративная обработка и другие) выполняются на скоростях от 1,4 до 1,6 м/с» [20].

«У трактора К-744Р с установленными массоэнергетическими параметрами на нижней границе рабочих скоростей МТА реализуется от 74 до 88 % мощности двигателя с увеличением g_{kp} от 8 до 10 %.

С повышением мощности трактора К-744Р2 до 235 кВт, для обеспечения верхнего предела энергонасыщенности 14,98 кВт/т, (вариант 3) верхняя граница зоны скоростей с недоиспользованием мощности двигателя при $P_{kp \max}$ возрастает до 2,12 м/с, а нагрузка двигателя на нижней границе зоны рабочих скоростей МТА снижается до 55 % с увеличением g_{kp} на 15 % (рисунок 10).

Полученные результаты свидетельствуют, что с ростом энергонасыщенности потенциальные возможности трактора смещаются в сторону более высоких скоростей, увеличивая одновременно скоростной диапазон с недоиспользованием мощности двигателя по сцепным свойствам.

Стабильность уровня загрузки двигателя при повышении его мощности достигается сохранением энергонасыщенности трактора. Соответствующее увеличение эксплуатационной массы трактора К-744Р2 в 1,15 раза по сравнению с К-701 сопровождается адекватным приращением P_{kp} и N_{kp} при скоростях движения $V \geq V_o$. Однако такой путь, из-за роста конструктивной массы не позволяет снизить нижнюю границу скоростного диапазона трактора при полной реализации его потенциальных возможностей» [12, 24].

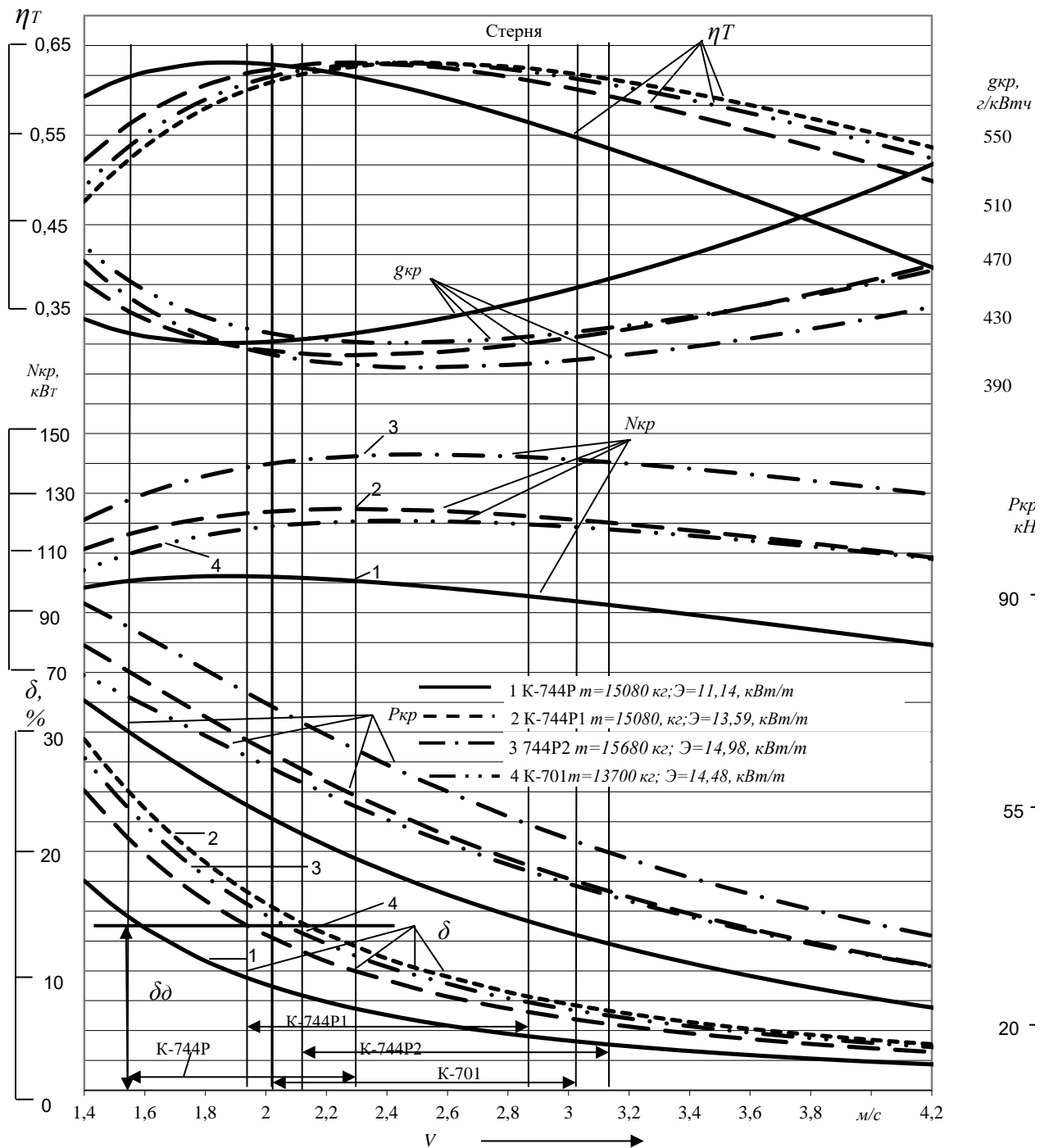


Рисунок 10 – Потенциальная тяговая характеристика тракторов «Кировец» с разными массоэнергетическими параметрами на стерне

«Недоиспользование мощности двигателя, усугубляемое ростом энергонасыщенности, требует изменения существующей тяговой концепции трактора. Стабильность показателей $P_{кр\text{opt}}$ и $P_{кр\text{max}}$ нарушается при $V_{\min} \leq V_{opt} (V_{\delta})$ соотношение между мощностью $N_{\mathcal{E}}$ и массой m_3 , составляющее параметрическую основу тяговой концепции» [24].

Указанное соотношение достигается, если рост тягового усилия при скорости $V_{\min} \leq V_{\delta}$ обеспечивается соответствующим приращением эксплуатационной массы трактора:

$$m_{B \max} = (m_{\varepsilon \max} - m_{\varepsilon}) = m_{\varepsilon} \left(\frac{V_{\delta}}{V_{\min}} - 1 \right). \quad (10)$$

Для колесного трактора К-744Р при минимальной скорости движения 1,4 м/с и допустимой – 1,57 м/с максимальная буксировочная масса составит 0,12 веса трактора (1831 кг), максимальная эксплуатационная масса трактора для реализации мощности двигателя во всем диапазоне основных рабочих скоростей должна быть 16911 кг, обеспечивая минимальную энергоэффективность 9,9 кВт.

«У трактора К-744Р2 с энергоэффективностью 14,98 кВт (вариант 3) при допустимой скорости 2,12 м/с буксировочная масса составляет около 0,514 веса трактора (8064 кг), что должно предусматриваться прочностью конструкции и нагрузочной способностью шин.

Принципиальная схема повышения уровня использования мощности энергонасыщенного колесного трактора в составе тягового агрегата применением балласта с регулируемой буксировочной массой (рисунок 11).

Повышение уровня загрузки двигателя до оптимальной (номинальной) в этом случае достигается пропорциональным ростом эксплуатационной массы и максимального тягового усилия на величину $\Delta P_{кр \max}$ в диапазоне скоростей от минимальной до допустимой при $\delta = \delta_{\delta}$.

В этом диапазоне обеспечивается высокая экономичность трактора в связи со стабильностью тягового КПД и функционированием двигателя в номинальном режиме с удельным расходом топлива, близким к минимальному» [9].

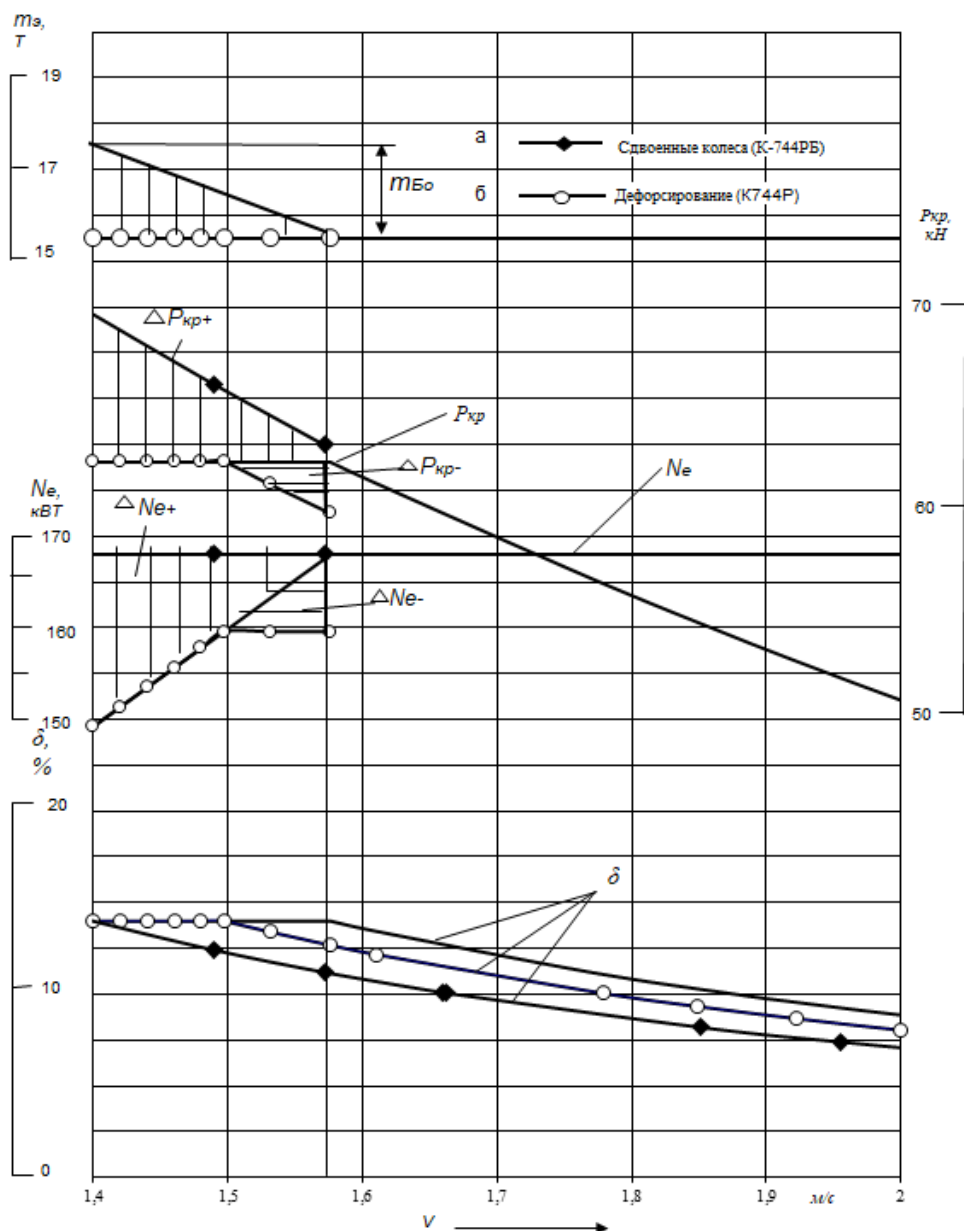


Рисунок 11 – Схема повышения уровня использования мощности энергонасыщенного колесного трактора применением сдвоенных колес (а), и дефорсированием (б)

Используемый на тракторах «Кировец» метод установки сдвоенных колес рассчитан на обеспечение минимальных допустимых диапазонов скоростей МТА при максимальном тяговом усилии, допустимой нагрузке на шину и почву при наименьшей конструкционной массе энергетического средства. Хотя повышение энергонасыщенности практически всегда обуславливает рост конструкционной массы и соответствующее уменьшение балласта.

«Реализация высоких тяговых усилий трактора связана с увеличением

ширины захвата и, следовательно, массы агрегируемых навесных машин, что требует соответствующего повышения допустимой грузоподъемности навесного устройства и установки сдвоенных колес для повышения нагрузочной способности из условий обеспечения управляемости и уменьшения глубины колеобразования при переводе навесных машин в транспортное положение посредством коррекции вертикальных нагрузок, центра давления и эпюры нормальных реакций почвы на пневматический движитель.

Для реальных тракторов регулируемая масса балласта в зависимости от требуемого тягового усилия заменяется максимально возможной путем установки сдвоенных колес, что приводит к снижению потенциального тягового КПД за счет избыточной массы на повышенных рабочих скоростях и частичных тяговых режимах. Для трактора К-744Р при установке сдвоенных колес $m_B = 1900$ кг, составляет около 104% от $m_{B_{max}}$ и обеспечивает полную загрузку дизеля в диапазоне, который является нижней границей рабочих скоростей современных технологических комплексов. При колебаниях тягового сопротивления почвообрабатывающих агрегатов ($\Delta \lim = 1,2 - 1,3$) эксплуатационная загрузка трактора $K_z = K_m / \Delta \lim = 0,95 - 0,97$ соответствует коэффициенту использования мощности от 0,9 до 0,95» [5].

«Реализуемая при этом мощность двигателя снижается и обеспечивает фактическую энергонасыщенность трактора (вариант 1) для этого диапазона скоростей на оптимальном уровне от 9,5 до 11,14 кВт/т.

Альтернативой метода применение сдвоенных колес способ повышения до оптимальной загрузки современных колесных тракторов, особенно с ДПМ, заключается в дефорсировании дизеля на рабочих скоростях до минимальной энергоэффективности от 9,39 до 10,6 Вт/кг. Указанное может быть реализовано применением двухрежимного регулирования с пологим протеканием скоростной характеристики ДПМ.

Потенциальные энергетические возможности тракторов на поле, подготовленном под посев ниже в среднем на 15 % чем на стерне (рисунок

12), что обусловлено характеристиками буксования и сопротивления перекачиванию. Из-за сближения оптимального и допустимого по буксованию режимов происходит сужение диапазонов рабочих скоростей в 2 раза, понижение которых на указанном фоне составило в среднем 14% (таблица 9).

Оптимальные режимы работы тракторов К-744Р/Р1, с базовыми массоэнергетическими параметрами на поле под посев по потенциальной тяговой характеристике практически ограничены тяговым (от 54,3 до 58,7 кН) и скоростным (от 1,5 до 1,6 или от 1,8 до 2,0 м/с) диапазонами. Потенциальные возможности тракторов К-744Р2 и К-701 по рассмотренным вариантам не решают принципиальной проблемы эффективной его работы при скорости ниже 1,72 м/с.

На поле, подготовленном под посев наивысшие потенциальные возможности тракторов достигаются при $\delta_{opt}=11,54\%$ на сдвоенных колесах. Оптимальные рабочие диапазоны скоростей и нагрузок, определяемые из условия $\delta_{opt} \leq \delta_0$ обеспечивают их функционирование на минимально допустимых скоростях» [15].

Таблица 9 – Потенциальные тяговые характеристики трактора «Кировец» тягово-энергетической концепции на подготовленном под посев фоне

| Варианты параметров трактора | Поле под посев | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|------------|
| | $P_{кр\ opt}$ кН | $P_{кр\ max}$ кН | Скорость, м/с | |
| | | | Оптимальная | Допустимая |
| К-744Р | 54,25 | 58,65 | 1,64 | 1,51 |
| К-744РБ | 61,08 | 66,04 | 1,45 | 1,34 |
| К-744Р1 | 54,25 | 58,65 | 2,00 | 1,840 |
| К-44Р1Б | 61,08 | 66,04 | 1,77 | 1,64 |
| К-744Р2 | 56,4 | 60,98 | 2,20 | 2,030 |
| К-744Р2Б | 63,96 | 69,15 | 1,95 | 1,79 |
| К-701 | 49,28 | 53,28 | 2,13 | 1,96 |
| К-701Б | 56,12 | 60,67 | 1,87 | 1,72 |

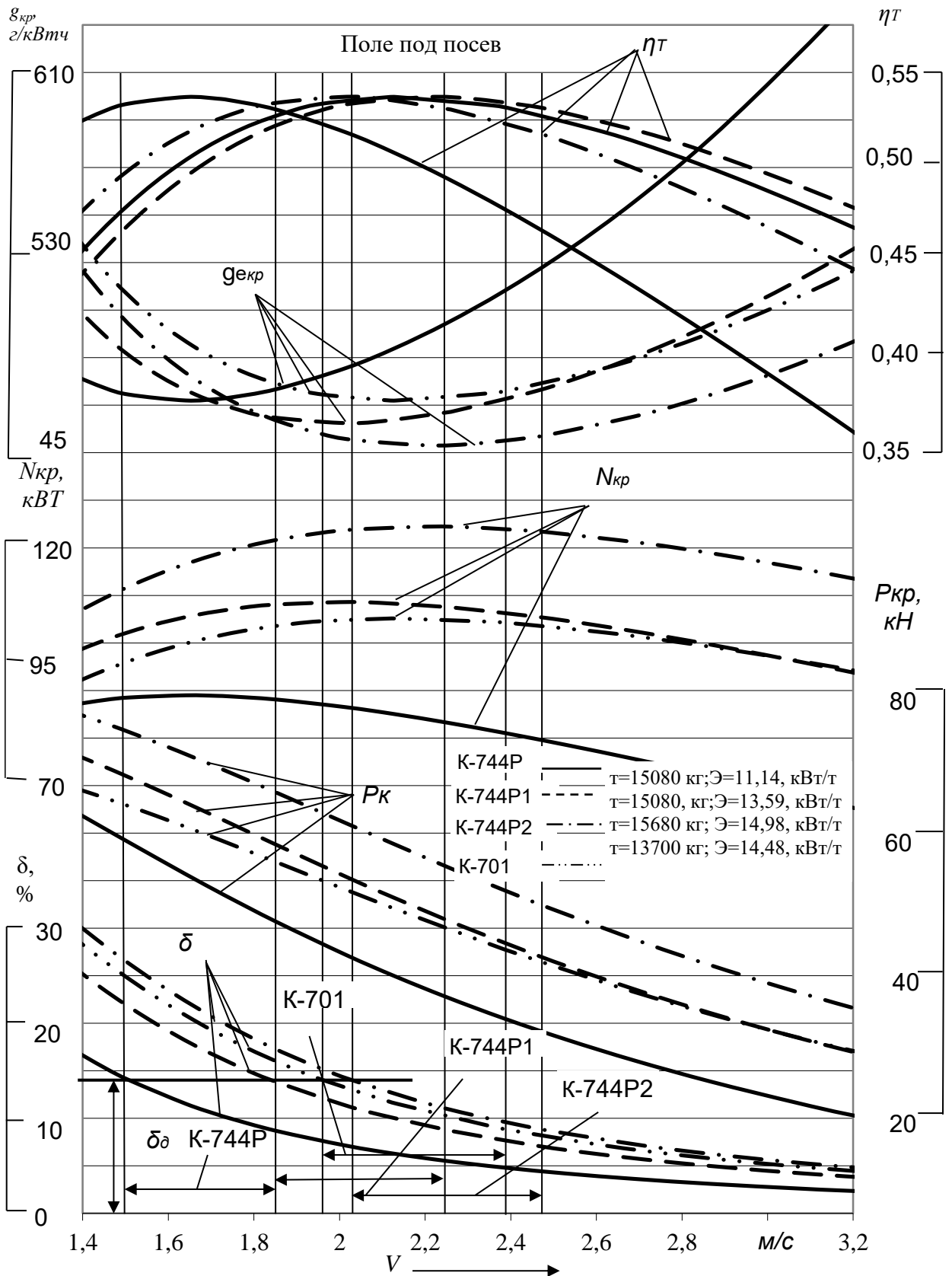


Рисунок 12 – Потенциальная тяговая характеристика тракторов «Кировец» с разными массоэнергетическими параметрами на поле под посев

2.4 Рациональные режимы использования тракторов «Кировец» концепции в составе почвообрабатывающих агрегатов

«Современные почвообрабатывающие агрегаты относятся к разряду сложных технических систем, выполняющих технологические процессы при перемещении по полю. При их комплектовании необходимо учитывать высокое качество технологического процесса, максимальную производительность при минимальных удельных топливно-энергетических и финансовых затратах, наименьшее отрицательное воздействие на окружающую среду и здоровье работающего человека» [9].

«Удовлетворение этих требований возможно на основе комплексного решения задачи комплектования агрегатов, на многоуровневой системы ресурсосбережения» [25].

Задача комплектования почвообрабатывающих агрегатов на базе трактора тягово-энергетической концепции сводится к обоснованию массоэнергетических параметров, состава и скоростного режима работы, поэтому решается на двух этапах.

«На первом этапе определяют рациональные тягово-скоростные диапазоны трактора с разными массоэнергетическими параметрами в зависимости от природно-производственных условий (почвенный фон, изменение удельного тягового сопротивления рабочих машин данного типа от скорости).

На втором этапе для энергомашины с рациональной энергонасыщенностью и мощности в определенных условиях функционирования по критериям ресурсосбережения рассчитывают оптимальные значения рабочей скорости и ширины захвата агрегата с последующим выбором числа машин и сцепки» [24].

«Для выбора рациональных режимов работы трактора с переменными параметрами следует учитывать характеристику тягового КПД, эквивалент производительности и энергозатрат, которые позволяют оценить его

эффективность независимо от удельного сопротивления машины и тяговой нагрузки» [52].

Анализ указанных выше зависимостей агрегатов с разными параметрами трактора показал (рисунок 13), что эквивалента производительности определяется только характеристикой технологической части. С увеличением коэффициента ΔK потенциальная производительность снижается и достигает экстремального (наивысшего) значения при меньшей скорости.

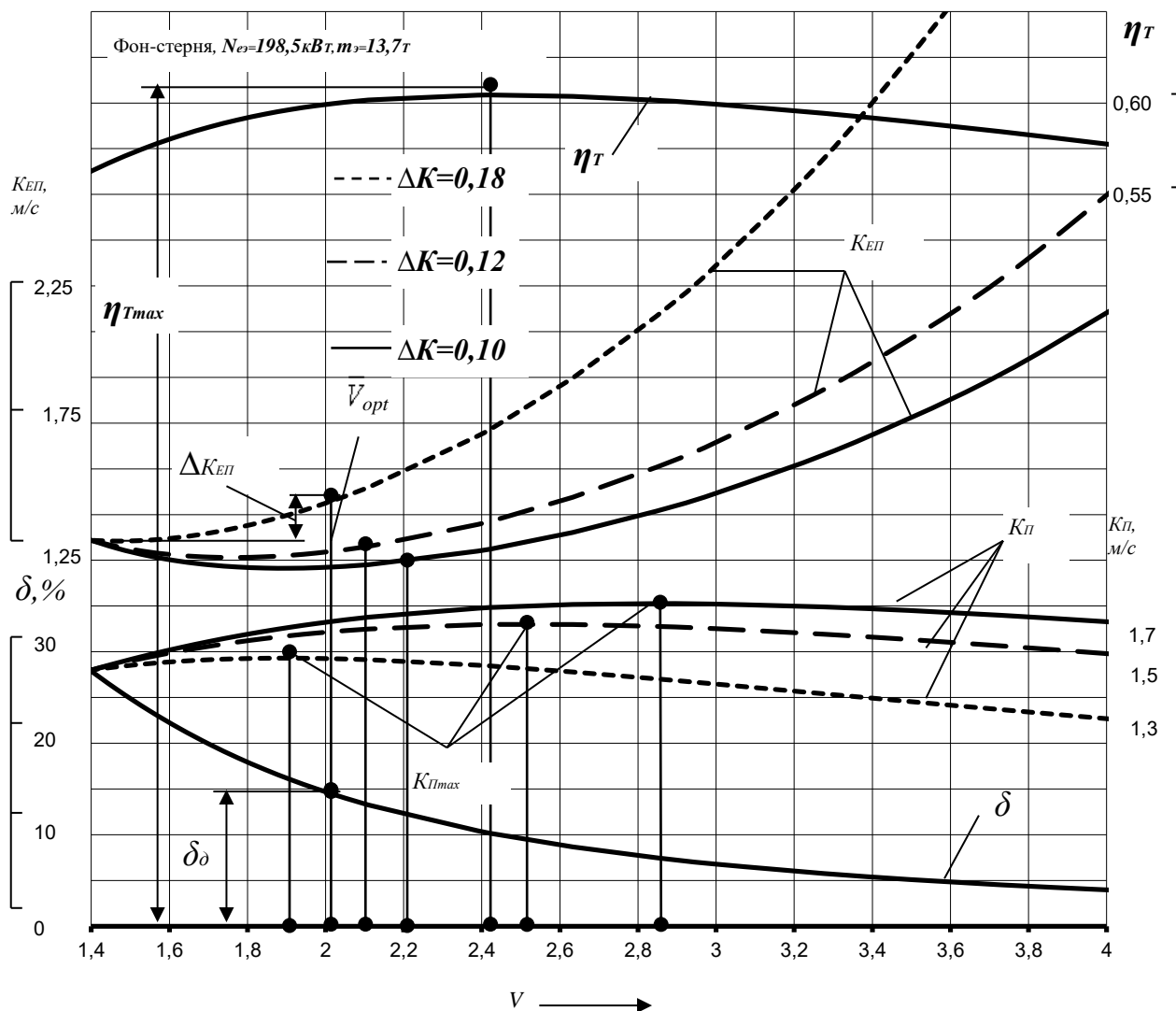


Рисунок 13 – Зависимость основных показателей работы почвообрабатывающих агрегатов на базе трактора К-701 от скорости

«При использовании трактора К-701 на основной и глубокой обработке почвы с энергонасыщенностью равной 14,5 Вт/кг скорость равняется 2,05 м/с и соответствует тяговому усилию выше максимального, что является недопустимым по буксованию. Понижение энергонасыщенности до 12,72 Вт/кг при установке сдвоенных колес из-за понижения оптимальных по тяговому КПД и допустимых по буксованию скоростей трактора, обеспечивает $V_{opt} \leq V(K_{II\max}) \geq V_{\delta}$, что наиболее благоприятно для реализации потенциальных возможностей энергетического модуля и технологического комплекса в составе агрегата» [12].

«При использовании трактора К-701 на основной и глубокой обработке почвы с $\mathcal{E}_{\min} = 14,5$ Вт/кг скорость $V(K_{II\max}) < V_{opt} = 2,05$ и соответствует тяговому усилию выше максимального, что является недопустимым по буксованию. Понижение энергонасыщенности до $\mathcal{E}_{\min} = 12,72$ Вт/кг при установке сдвоенных колес из-за понижения оптимальных по тяговому КПД V_{opt} и допустимых по буксованию V_{δ} скоростей трактора, обеспечивает $V_{opt} \leq V(K_{II\max}) \geq V_{\delta}$, что наиболее благоприятно для реализации потенциальных возможностей энергетического модуля и технологического комплекса в составе агрегата» [12].

«На подготовленном под посев фоне, из-за малых $\Delta K \leq 0,10 \text{ с}^2/\text{м}^2$, превышение $K_{II\max}$ над $K_{II}(V_{opt})$ в режиме $\mathcal{E}_{\max} = 14,5$ Вт/кг достигает и 20%, а при $\mathcal{E}_{\min} = 12,72$ Вт/кг достигает 3%.

Эквивалента энергозатрат $K_{EP} = E_K / E_{II}$ принимает минимальные значения для рассматриваемых вариантов параметров трактора на представленных почвенных фонах при $V(K_{EP\min}) \geq V_{\delta}$, что недопустимо по буксованию.

Наиболее эффективным с практической точки зрения представляется выбор оптимальных рабочих скоростей, для определения соответствующих передаточных чисел на основных передачах и условий комплектования

агрегатов разного технологического назначения, по компромиссному решению. Графически показаны значения оптимальной скорости \bar{V}_{opt} при повышении K_{EP} на величину ΔK_{EP} обеспечивающую функционирование МТА в диапазоне $V_{\delta} \leq \bar{V}_{opt} \leq V_{opt}$ и рост производительности на ΔK_{II} .

Результатами моделирования установлено, что величина ΔK_{EP} определяется соотношением энергонасыщенности трактора и коэффициента ΔK технологической части агрегата. При $\mathcal{E}_{max} = 14,5$ Вт/кг и $\Delta K = 0,1 - 0,12$ с²/м² на стерне обеспечивает повышение K_{EPmin} на 5 % обеспечивает функционирование МТА в рациональном тягово-скоростном диапазоне. С увеличением ΔK это условие нарушается из-за $\bar{V}_{opt} \leq V_{\delta}$. Для обеспечения рационального диапазона скоростей на поле под посев при $V_{opt} \rightarrow V_{\delta} \Delta K_{EP}$ составляет от 2 до 7 %» [12].

Приведенные результаты позволили обосновать основные принципы компромиссного решения по выбору рациональных параметров и режимов работы колесного трактора тягово-энергетической концепции при изменении условий агрегатирования:

- на основной обработке почвы прицепными агрегатами без ограничений по ширине захвата при $\Delta K \geq 0,1$ с²/м², для обеспечения $P_{кр. max}$ применять трактор с m_{max} и \mathcal{E}_{min} путем установки сдвоенных колес, рациональный скоростной диапазон которого $(V_{opt} - V_{\delta})$ определяет передаточное число основной передачи рабочего диапазона;
- при выполнении малоэнергоёмких операций ($\Delta K \leq 0,1$ с²/м²) широкозахватными машинами не способными загрузить двигатель на паровом и подготовленном под посев фонах использовать трактор с параметрами m_{max} и \mathcal{E}_{max} (без установки сдвоенных колес).

Предложенные варианты использования сдвоенных колес ($m_{\delta max} = 0,1250, 135 - m_{\delta}$) позволили реализовать тягово-энергетическую

концепцию трактора общего назначения, обеспечивающую эффективное функционирование почвообрабатывающих агрегатов, в установленных для мобильных энергетических средств 5-6 классов, тяговых диапазонах.

«При заданной заводом-изготовителем теоретической скорости в номинальном режиме на III/2 и II/2 передаче $V_{TH 1}=2,389$ м/с, $V_{TH 2}=2,639$ м/с, оптимальная ($V_{opt2}=2,39$ м/с) и при допустимом буксовании ($V_{\partial 1}=2,11$ м/с), действительные скорости движения отличаются от расчетных $V_{opt}=2,435$ м/с ($m_3=13700$ Вт/кг, $\mathcal{E}_{max}=14,5$ Вт/кг) и $V_{\partial}=2,205$ м/с ($m_3=13700$ Вт/кг, $\mathcal{E}_{max}=14,5$ Вт/кг) менее чем на 2%.

Совпадение расчетных оптимальных значений передаточных чисел трансмиссии на II/2 и III/2 основного диапазона с действительным (i_{TP}) свидетельствует о правильности предлагаемых к использованию в разных условиях массоэнергетических параметров трактора.

Потенциальные тяговые характеристики трактора с разными параметрами на основных почвенных фонах подтвердили целесообразность и эффективность предлагаемых вариантов функционирования мобильного тягово-энергетической концепции средства» [12].

По результатам анализа тяговых характеристик установлена устойчивая закономерность изменения потенциальных энергетических и топливных показателей в зависимости от энергонасыщенности, определяющая рациональные режимы агрегатирования трактора с переменными массоэнергетическими параметрами на соответствующих почвенных фонах.

У трактора базовой комплектации ($m_3=13700$ кг, $\mathcal{E}=14,5$ Вт/кг) наиболее высокие показатели на стерне/поле под посев достигаются на III/2 и II/2 передаче при тяговых усилиях 50,54/49,02 кН, которые не превышают допустимых по агрегатированности значений $P_{max}=58,18/53,28$ кН. Поэтому III/2 передачу следует использовать на вспашке почвы полунавесными и навесными, оборотными плугами, на обработке поля под посев широкозахватными прицепными агрегатами следует использовать II/2

передачу.

Для реализации максимальных тяговых нагрузок на основной обработке стерни широкозахватными прицепными агрегатами наиболее эффективен трактор со сдвоенными колесами ($\Theta=15600=12,72$ Вт/кг) на II/2 передаче, у которого при $P_{крII/2}=55,47$ кН достигаются наивысшие, по сравнению с другими вариантами, значения оценочных показателей ($N_{кр}=20,8$ кВт, $g_{кр}=410,79$ г/кВт ч, $\delta=9,71$ %).

На безотвальной обработке стерни, лушении паров и предпосевной культивации широкозахватными агрегатами, при ограничении тяговой нагрузки до 58,2 кН по условиям маневренности и агрегатируемости, наиболее эффективен трактор со сдвоенными колесами ($\Theta=15600=12,72$ Вт/кг) на II/2 передаче выполнении указанных операций обеспечивает повышение $N_{кр}$ и снижение $g_{кр}$ на 2 и 1 % соответственно.

У трактора базовой комплектации ($m_э=15080$ кг, $\Theta=11,14$ Вт/кг) наиболее высокие показатели на стерне/поле под посев достигаются на II/1 передаче при тяговых усилиях 57,60/48,97 кН, которые не превышают допустимых по агрегатируемости значений $P_{max}=64,04/58,65$ кН. Поэтому II/1 передачу следует использовать на вспашке почвы полунавесными, навесными и оборотными плугами, на обработке поля под посев широкозахватными прицепными агрегатами следует использовать II/1 передачу.

«Для реализации максимальных тяговых нагрузок на основной обработке стерни широкозахватными прицепными агрегатами наиболее эффективен трактор штатной комплектации ($\Theta=15080=11,14$ Вт/кг) на II/1 передаче, у которого при $P_{крII/1}=57,56$ кН достигаются наивысшие, по сравнению с другими вариантами, значения оценочных показателей ($N_{кр}=102,1$ кВт, $g_{кр}=411,26$ г/(кВт ч), $\delta=11,15$ %).

На безотвальной обработке стерни, лушении паров и предпосевной культивации широкозахватными агрегатами, при ограничении тяговой нагрузки до 64,04/58,65 кН по условиям маневренности и агрегатируемости,

наиболее эффективен трактор штатной комплектации на II/1 передаче выполнении указанных операций обеспечивает повышение $N_{кр}$ и снижение $g_{кр}$ на 4 и 2% соответственно» [12].

У трактора K744P1 базовой комплектации ($m_э = 15080$ кг, $Э = 13,6$ Вт/кг) наиболее высокие показатели на стерне/поле под посев достигаются на III/2/III/1 передаче при тяговых усилиях 51,47/55,49 кН, которые не превышают допустимых по агрегатируемости значений $P_{max} = 64,04/58,65$ кН. Поэтому III/2 передачу следует использовать на вспашке почвы полунавесными и навесными, оборотными плугами, на обработке поля под посев широкозахватными прицепными агрегатами следует использовать III/1 передачу.

«Для реализации максимальных тяговых нагрузок на основной обработке стерни широкозахватными прицепными агрегатами наиболее эффективен трактор со сдвоенными колесами ($m_э = 16980$ кг, $Э = 12,07$ Вт/кг) на III/1 передаче, у которого при $P_{крн III/1} = 62,81$ кН достигаются наивысшие, по сравнению с другими вариантами, значения оценочных показателей ($N_{кр} = 124,74$ кВт, $g_{кр} = 402,6$ г/(кВт ч), $δ = 10,5$ %).

На безотвальной обработке стерни и предпосевной культивации широкозахватными агрегатами, при ограничении тяговой нагрузки до 64,04 на стерне и поле под посев 58,65 кН по условиям маневренности и агрегатируемости, наиболее эффективен трактор со сдвоенными колесами ($Э = 15980 = 12,72$ Вт/кг) на стерне III/1, поле под посев II/1 передаче выполнении указанных операций обеспечивает повышение $N_{кр}$ и снижение $g_{кр}$ на 1 и 1 % соответственно» [12].

У трактора K744P2 базовой комплектации ($m_э = 15680$ кг, $Э = 14,5$ Вт/кг) наиболее высокие показатели на стерне/поле под посев достигаются на III /2/ II/2 передаче при тяговых усилиях 57,38/55,63 кН, которые не превышают допустимых по агрегатируемости значений $P_{max} = 66,58/60,98$ кН. Поэтому III 2передачу следует использовать на вспашке почвы полунавесными и навесными, оборотными плугами, на обработке поля под посев

широкозахватными прицепными агрегатами следует использовать II/2 передачу.

«Для реализации максимальных тяговых нагрузок на основной обработке стерни широкозахватными прицепными агрегатами наиболее эффективен трактор со сдвоенными колесами ($m_{\text{э}}=17780$ кг, $\text{Э}=13,22$ Вт/кг) на II/2 передаче, у которого при $P_{\text{КРн II/2}}=63,06$ кН достигаются наивысшие, по сравнению с другими вариантами, значения оценочных показателей ($N_{\text{кр}}=143$ кВт, $g_{\text{кр}}=394,4$ г/(кВт ч), $\delta=9,67\%$).

На безотвальной обработке стерни и предпосевной культивации широкозахватными агрегатами, при ограничении тяговой нагрузки до 66,58 на стерне и поле под посев 60,98 кН по условиям маневренности и агрегатируемости, наиболее эффективен трактор штатной комплектации ($\text{Э}=15680=14,5$ Вт/кг) на стерне III/2, поле под посев III/1 передаче выполнении указанных операций обеспечивает повышение $N_{\text{кр}}$ и снижение $g_{\text{кр}}$ на 1 и 1 % соответственно» [12].

Соответствующие значения рациональных режимов работы тракторов «Кировец» с разными массоэнергетическими параметрами по передачам в оптимальном тяговом диапазоне по которым построены соответствующие графики (рисунок 14).

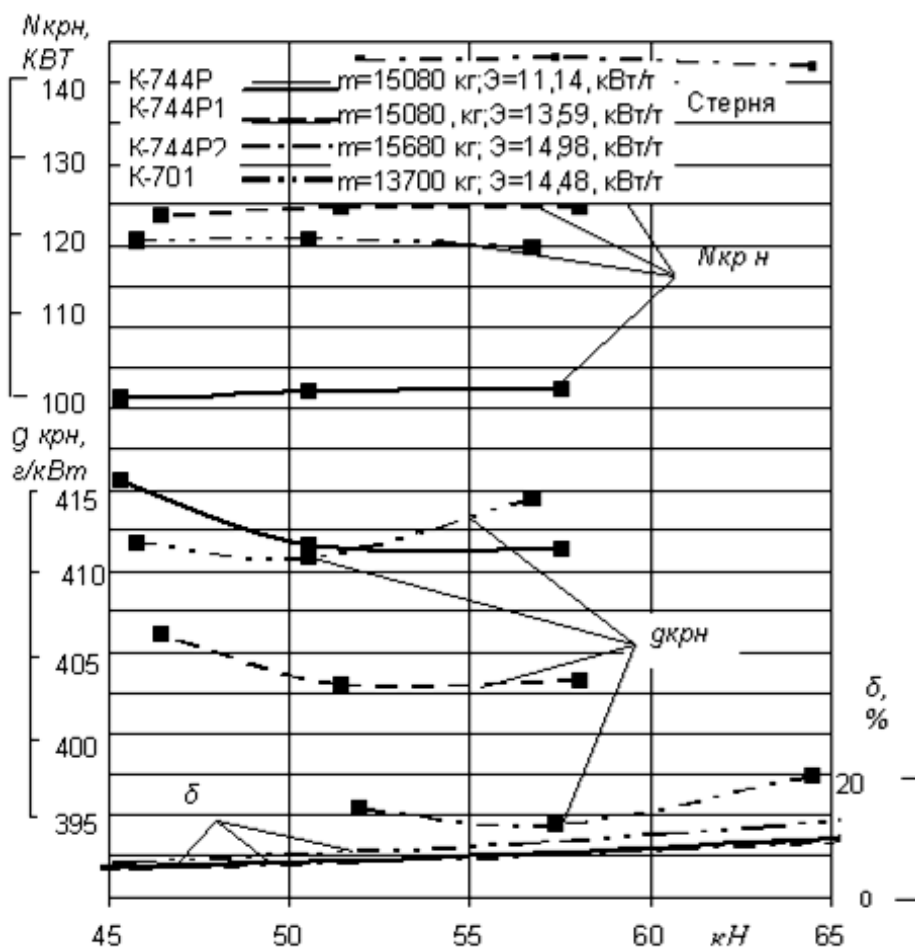
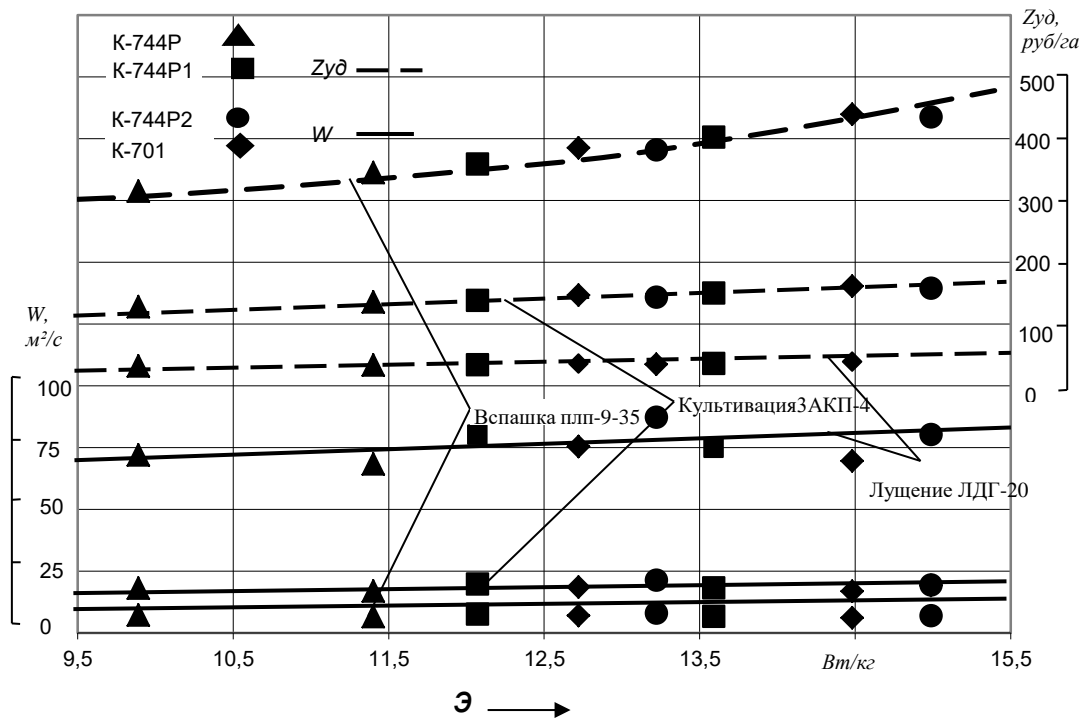
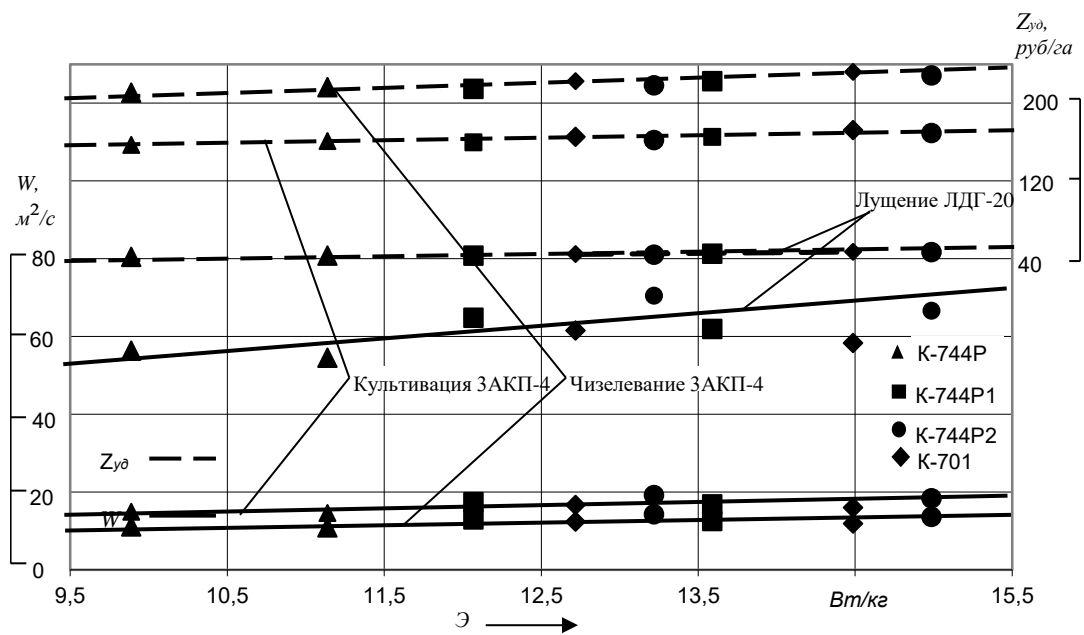


Рисунок 14 – Потенциальные тяговые характеристики тракторов семейства «Кировец» на основных передачах

Сравнительная оценка показателей технологических свойств колесного трактора тягово-энергетической концепции (рисунок 15) подтвердила эффективность установленных для разных технологических операций рациональных массоэнергетических параметров.



а) стерня



б) поле под посев

Рисунок 15 – Влияние энергонасыщенности на показатели технологических свойств тракторов семейства «Кировец»

С учетом агрегируемости, на основной обработке почвы плугом ПЛП-9-35 у трактора К-701 базовой комплектации на II/2 передаче показатели чистой производительности ($6,042 \text{ м}^2/\text{с}$) и прямых удельных

эксплуатационных затрат (451,8 р./га) на 3 и 3% выше чем при установке сдвоенных колес.

Зяблевая безотвальная обработка 3-АКП-4 на глубину от 0,14 до 0,16 м наиболее эффективна на сдвоенных колесах при $\mathcal{E}_T=12,72$ Вт/кг трактора на III/1 передаче. Повышение производительности и снижение удельных затрат составляет более 6 и 6,5 %. Агрегатирование с 3-АКП-4 на поле под посев наиболее эффективна при $\mathcal{E}_T=12,72$ Вт/кг трактора на III/1 обеспечивает повышение производительности на 3% и снижение удельных затрат на 3%.

При чизелевании 3-АКП-4 на глубину от 0,22 до 0,24 м производительность трактора со сдвоенными колесами на III/1 передаче выше на 2% при снижении удельных затрат на 3%.

При работе с луцильником ЛДГ-20 повышение показателей технологических свойств при $\mathcal{E}_T=12,72$ Вт/кг (W) и ($Z_{y\partial}$) на III/1 передаче достигает 9,5% и 5,4%.

С учетом агрегатируемости, на основной обработке почвы плугом ПЛП-9-35 у трактора К-744Р базовой комплектации на II/1 передаче показатели чистой производительности ($6,2$ м²/с) и прямых удельных эксплуатационных затрат (378,6 р./га) на 5 и 3% ниже чем при установке сдвоенных колес.

Зяблевая безотвальная обработка 3-АКП-4 на глубину 0,14-0,16 м наиболее эффективна трактором базовой комплектации на II/1 передаче. Повышение производительности и снижение удельных затрат составляет более 2 и 2%. Агрегатирование с 3-АКП-4 на поле под посев наиболее эффективна при $\mathcal{E}_T=11,14$ Вт/кг трактора на II/1 обеспечивает повышение производительности на 4% и снижении удельных затрат на 4%.

При чизелевании 3-АКП-4 на глубину от 0,22 до 0,24 м производительность трактора базовой комплектации на II/1 передаче выше на 4% при снижении удельных затрат на 4%.

При работе с луцильником ЛДГ-20 повышение показателей технологических свойств при $\mathcal{E}_T=11,14$ Вт/кг (W) и ($Z_{y\partial}$) на II/1 передаче

достигает 20% и 25%.

С учетом агрегатируемости, на основной обработке почвы плугом ПЛП-9-35 у трактора К-744Р1 со сдвоенными колесами на II/1 передаче показатели чистой производительности ($7,58 \text{ м}^2/\text{с}$) и прямых удельных эксплуатационных затрат ($364,27 \text{ р./га}$) на 20 и 18% ниже чем при базовой комплектации.

Зяблевая безотвальная обработка 3-АКП-4 на глубину от 0,14 до 0,16 м наиболее эффективна трактором со сдвоенными колесами на II/1 передаче. Повышение производительности и снижение удельных затрат составляет более 14 и 14%. Агрегатирование с 3-АКП-4 на поле под посев наиболее эффективна при $\mathcal{E}_T=12,07 \text{ Вт/кг}$ трактора на II/1 обеспечивает повышение производительности на 3% и снижении удельных затрат на 3%.

При чизелевании 2-АКП-4 на глубину от 0,22 до 0,24 м производительность трактора со сдвоенными колесами на II/1 передаче выше на 4% при снижении удельных затрат на 4%.

При работе с луцильником ЛДГ-20 повышение показателей технологических свойств при $\mathcal{E}_T=12,07 \text{ Вт/кг}$ (W) и (Z_{y0}) на II/1 передаче достигает 5 % и 4 %.

«С учетом агрегатируемости, на основной обработке почвы плугом ПЛП-9-35 у трактора К-744Р2 со сдвоенными колесами на III/1 передаче показатели чистой производительности ($7,5 \text{ м}^2/\text{с}$) и прямых удельных эксплуатационных затрат ($414,6 \text{ р./га}$) на 10 и 8% ниже чем при базовой комплектации» [21].

Зяблевая безотвальная обработка 3-АКП-4 на глубину 0,14-0,16 м наиболее эффективна трактором со сдвоенными колесами на III/1 передаче. Повышение производительности и снижение удельных затрат составляет более 5 и 6%. Агрегатирование с 3-АКП-4 на поле под посев наиболее эффективна при $\mathcal{E}_T=13,22 \text{ Вт/кг}$ трактора на II/1 обеспечивает повышение производительности на 8% и снижении удельных затрат на 7%.

При чизелевании 3-АКП-4 на глубину от 0,22 до 0,24 м

производительность трактора со сдвоенными колесами на II/1 передаче выше на 8% при снижении удельных затрат на 7%.

При работе с луцильником ЛДГ-20 повышение показателей технологических свойств на сдвоенных колесах (W) и ($Z_{y\delta}$) на III/1 передаче достигает 6% и 5%.

Был определен массовый расход топлива на единицу выполненной работы на тракторах «Кировец» с различными массоэнергетическими параметрами на разных почвенных фонах при выполнении основных видов работ и построены соответствующие графики (рисунки 16, 17).

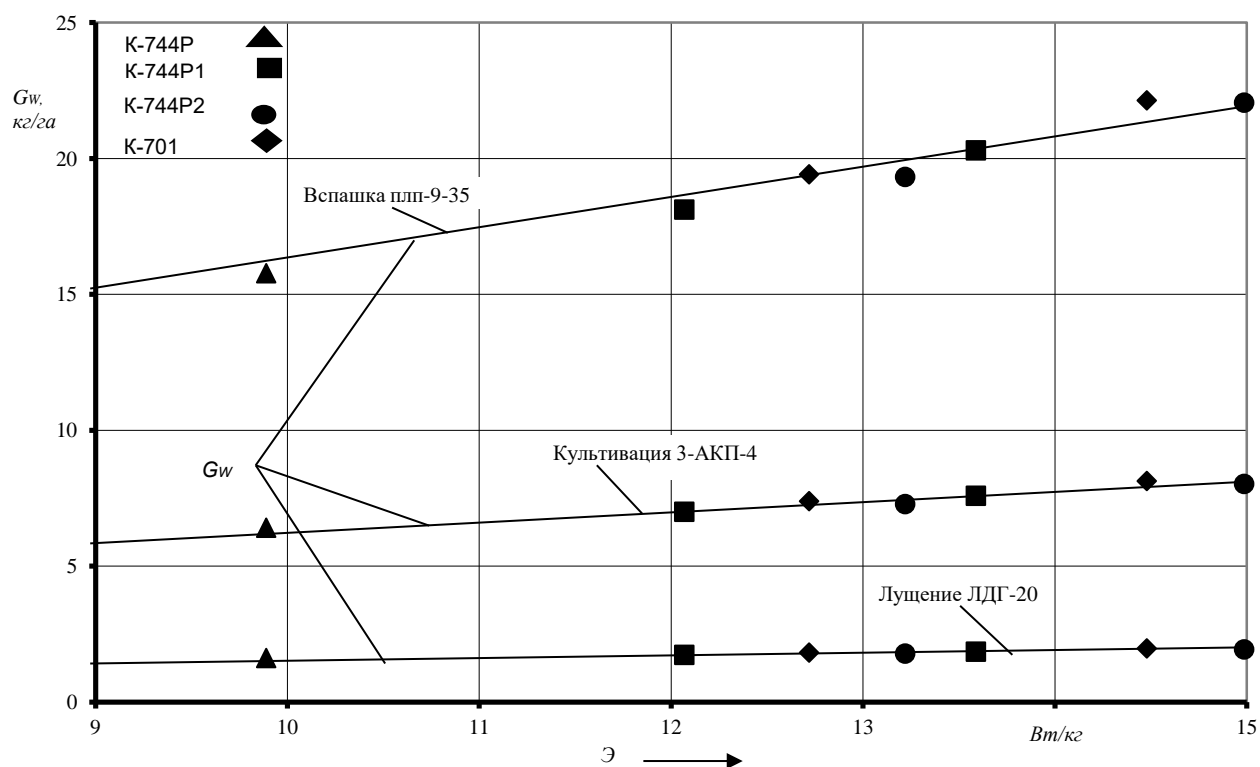


Рисунок 16 – Потенциальный расход топлива на основных видах работ на стерне

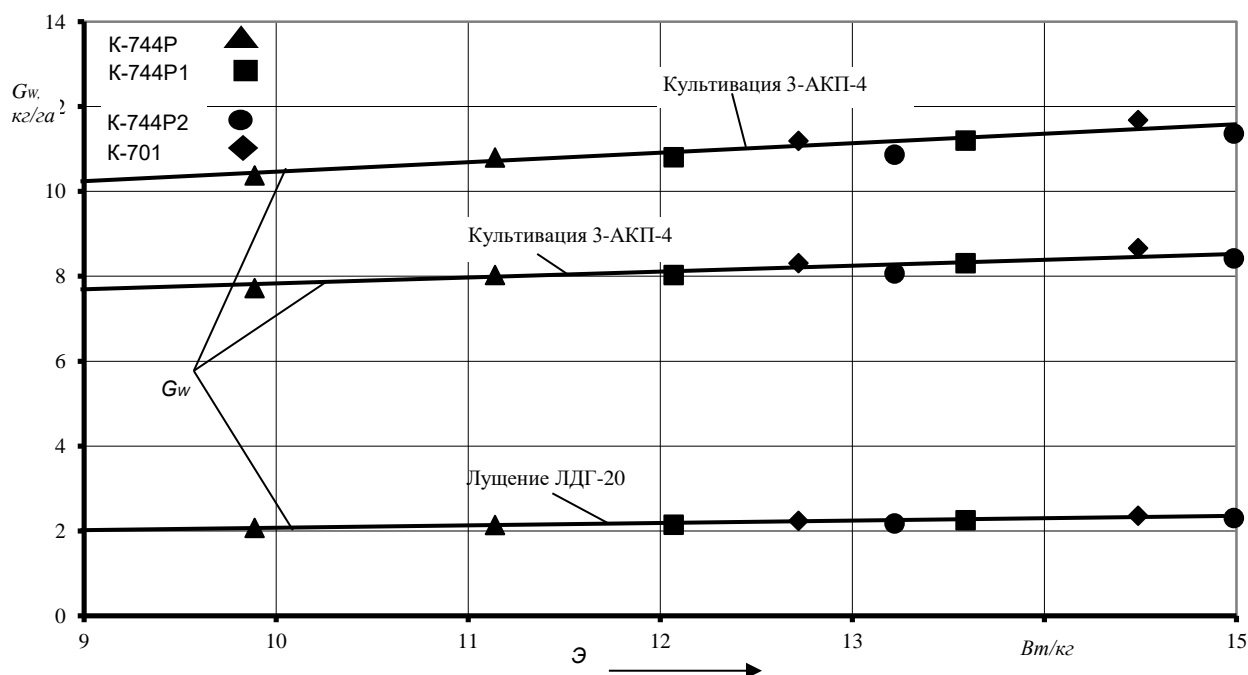


Рисунок 17 – Потенциальный расход топлива на основных видах работ на поле под посев

При техническом обеспечении ресурсосберегающих технологий следует:

- безотвальную зяблевую обработку широкозахватным агрегатом в составе К701+3АКП-4 производить на III/1 передаче на сдвоенных колесах, К744Р+3АКП-4 производить на II/1 передаче базовой комплектации, К744Р1+3-АКП-4 производить на II/1 передаче на сдвоенных колесах, К744Р2+3АКП-4 производить на III/1 передаче на сдвоенных колесах;
- на основной отвальной обработке почвы использовать агрегат К701 ПЛП-9-35 на III/1 передаче с балластом в колесах трактора, К744Р ПЛП-9-35 на II/1 передаче базовой комплектации, К744Р1 ПЛП-9-35 на II/1 передаче на сдвоенных колесах трактора, К744Р2 ПЛП-9-35 на III/1 передаче на сдвоенных колесах трактора;
- при обработке стерни луцильником ЛДГ-20 наиболее эффективна при использовании трактор К701 со сдвоенными колесами на III/1 передаче, трактор К744Р штатной комплектации на II/1 передаче,

К744Р1 со сдвоенными колесами на II/1 передаче, К744Р2 со сдвоенными колесами на III/1 передаче.

Был определен потенциальный массовый расход топлива на единицу выполненной работы на тракторах «Кировец» с различными массоэнергетическими параметрами при выполнении основных видов работ на разных почвенных фонах.

Выводы по разделу.

По результатам выполненных расчетов были определены зависимости изменения вертикальных нагрузок от силы тяги на крюке, по которым установлены оптимальные значения тяговых усилий по нагрузкам на ведущих мостах с одинарными и сдвоенными колесами, $m_{Эmax}/m_{Эmin}$, соответствующие выравниванию нормальных реакций по осям.

Найдены зависимости радиуса качения ведущего колеса трактора от давления воздуха в шине 28,1 R26 и 30,5 R32 и нормальных нагрузок определены оптимальные значения давления в шинах, при котором обеспечивается кинематическое соответствие между окружными скоростями передних и задних ведущих колес в зоне номинальных тяговых усилий.

«На основании потенциальных тяговых характеристик тракторов Кировец установлено, что при выполнении энергоемких тяговых операций на фонах высокой твердости (залежь) оптимальный режим достигается снижением границы минимальных рабочих скоростей установкой сдвоенных колес или дефорсированием трактора.

На подготовленном под посев фоне указанная проблема в принципе не возникает из-за пониженных оптимальных и допустимых по сцепным свойствам рабочих скоростей» [16].

Установка сдвоенных колес уменьшает колеобразование при улучшении тягово-сцепных свойств и нагрузочной способности двигателя.

Эффективная целесообразность повышения степени использования потенциальных возможностей тракторов «Кировец» на рабочих скоростях, в том числе ниже минимально допустимой по буксованию путем установки

сдвоенных колес может быть обоснована по результатам энергетического и экономического анализа.

«По установленным тяговым показателям и эквивалентам производительности и удельных энергозатрат обоснованы рациональные параметры и режимы работы трактора тягово-энергетической концепции в различных условиях агрегатирования.

На основе потенциальных тяговых характеристик и показателей технологических свойств подтверждена целесообразность и эффективность обоснованных вариантов функционирования мобильного тягово-энергетической концепции средства в составе почвообрабатывающих и агрегатов разного технологического назначения» [21].

которого включены контакты микровключателя, в пневмомагистраль за компрессором включен двухпозиционный распределитель с пневматическим управлением и пружиной возврата, первый выход которого подключен к ресиверам, второй выход к крану управления давлением воздуха в шинах, а управляющая полость соединена с выходом электромагнитного пневмоклапана, выход которого соединен с ресиверами, при этом контакты микровключателя связаны с приводом включения крана управления давлением воздуха в шинах» [24].

Это обеспечивает возможность работы компрессора при наполнении шин с меньшим противодавлением, что увеличивает его производительность на 25-40 % и ресурс.

Недостатком данного устройства является малая скорость снижения давления воздуха в шинах, что приводит к ухудшению проходимости транспортного средства.

На рисунке 19 показано устройство централизованного управления давлением воздуха в шинах (АС 388924).

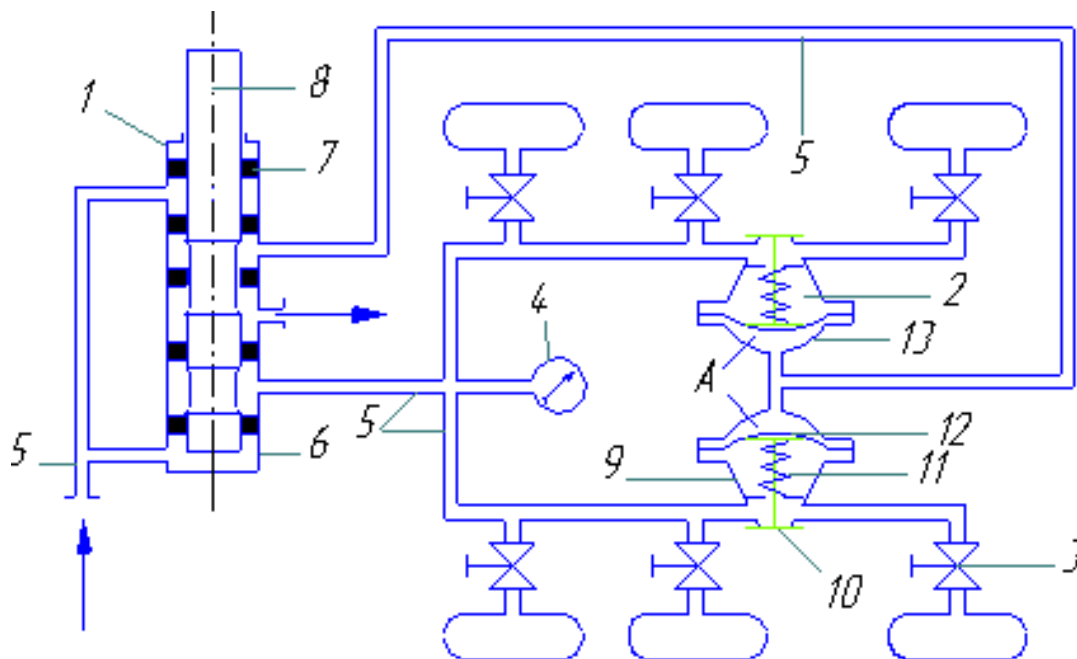


Рисунок 19 – Схема устройства централизованного управления давлением воздуха в шинах

«Цель изобретения – ускорение снижения давления в шинах. Это достигается тем, что управляющая полость мембранного клапана для выпуска воздуха связана трубопроводом с управляемым распределителем, соединяющим эту полость с источником давления воздуха при выпуске воздуха из шин.

Устройство состоит из управляемого распределителя 1, клапанов 2, запорных кранов 3, расположенных на колёсах и позволяющих отключать от магистрали любую шину в случае ее повреждения, воздушного манометра 4, служащего для контроля за величиной давления воздуха, и магистральных трубопроводов 5. Управляемый распределитель состоит из корпуса 6, резиновых уплотнителей 7, обеспечивающих герметичность различных полостей крана, и золотника 8, соединяющего или разъединяющего между собой различные полости распределителя. Клапан 2 состоит из корпуса 9, затвора 10 с привулканизированной к нему резиной, пружины 11, мембраны 12 и крышки 13» [1].

Устройство работает следующим образом.

«В нейтральном положении распределитель отключает шины от воздушного компрессора. Управляющая полость А клапана 2 соединяется с атмосферой через распределитель. Пружина 11 прижимает затвор 10 к седлу, закрывая выпускное отверстие. Давление в шинах остается неизменным. При выпуске воздуха из шин распределитель соединяет шины с атмосферой одновременно через кран и через выпускное отверстие клапанов благодаря тому, что сжатый воздух, идущий от распределителя в полость А, воздействуя на мембрану 12, отжимает затвор от седла. Происходит параллельное истечение воздуха из шин по коротким воздушным магистралям. Давление в шинах резко падает. При повышении давления в шинах распределитель соединяет шины с воздушным компрессором. Полость А клапана соединяется с атмосферой через распределитель, пружина прижимает затвор 10 к седлу, закрывая выпускное отверстие, давление, в шинах поднимается.

Недостатком данного устройства является низкая производительность наполнения шин, лимитируемая производительностью компрессора, работающего с постоянным противодавлением в ресиверах, которое для обеспечения надежной работы тормозной системы поддерживается значительно большим по величине, чем максимальное внутреннее давление воздуха в шинах с регулируемым давлением. Кроме того, при длительной работе компрессора с большим противодавлением сокращается его ресурс» [1].

На рисунке 20 показано устройство регулирования тяговых качеств пневмоколёсного транспортного средства с двигателем внутреннего сгорания (АС 1172753 А).

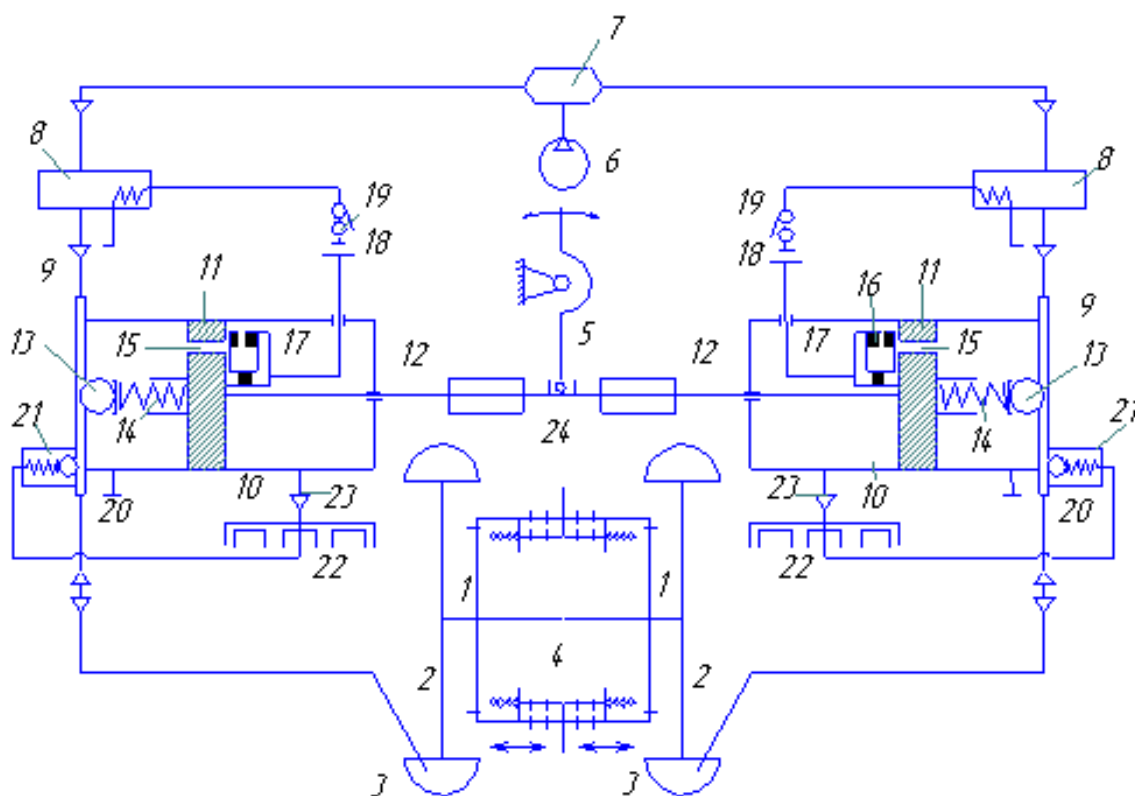


Рисунок 20 – Схема устройства регулирования тяговых качеств пневмоколёсного транспортного средства с двигателем внутреннего сгорания

«Устройство содержит органы управления и систему регулирования давления воздуха в шинах колёс, включающую в себя источник давления, связанный через электропневмоклапан с входом регулятора давления,

имеющего разгрузочное отверстие, перекрываемое электрическими контактами, включёнными в цепь управления электропневмоклапана, и содержащего поршень со штоком, при этом шток регулятора связан с органом управления, а поршень подпружинен относительно установленного на входе регулятора клапана, выход регулятора связан с полостью шин и снабжён, параллельно установленным предохранительным клапаном, полость регулятора, расположенная за разгрузочным отверстием, сообщена с всасывающим коллектором двигателя. Устройство отличается тем, что, с целью повышения тяговых качеств при повороте транспортного средства с межколёсным дифференциалом свободного хода и снижения износа последнего, оно снабжено вторым электропневмоклапаном и дополнительным регулятором давления, при этом штоки обоих регуляторов расположены оппозитно, связаны между собой через регулировочные муфты шарнирно соединены с органом управления, обеспечивающим поворот транспортного средства, а выходы регуляторов соединены с шинами колёс, расположенных с противоположных сторон ведущей оси» [12].

Устройство работает следующим образом.

«При повороте рычага органа управления 5 поворотом направо штоки 1 поршней 11 правого и левого регуляторов перемещаются влево. Это приводит к ослаблению пружины 14 правого и усилению пружины 14 левого регуляторов. Шарик правого регулятора под действием давления воздуха из шины к магистрали, преодолевая усилие пружины, начинает отходить от седла, пропуская воздух в бесштоковую полость цилиндра, оттуда он через отверстие 15 в поршне замыкает контакты 16 и 17 цепи правого электропневмоклапана 8, а затем направляется во всасывающий коллектор двигателя. Перекрывается магистраль подвода воздуха к шине правого колеса. Давление воздуха в шине правого колеса снижается пропорционально повороту транспортного средства до минимального своего значения. Шарик левого регулятора под действием пружины сильнее прижат, поэтому не открывается. При этом электропневмоклапан 8 левого колеса открыт из-за

разомкнутости контактов 16 и 17 левого регулятора. Происходит наполнение шины до максимального давления, пропорционально радиусу поворота. Изменения давления в шинах правого колеса в сторону снижения от номинального, а давления в шинах левого забегающего колеса в сторону повышения обеспечивают работу ведомых элементов межколёсного дифференциала 4 свободного хода без вывода из зацепления с ведущими. При полном повороте транспортного средства с радиусом 7,2 м дифференциал блокирован 80% пути поворота» [12].

Данное устройство изменяет давление в шинах только при повороте транспортного средства, и не даёт возможности регулировать его в зависимости от типа дорожного покрытия. Это является существенным недостатком данного устройства, поскольку большинство операций в сельском хозяйстве выполняемых транспортными средствами производится прямолинейно.

На рисунке 21 показано устройство регулирования давления воздуха в шинах транспортного средства (АС 1698090).

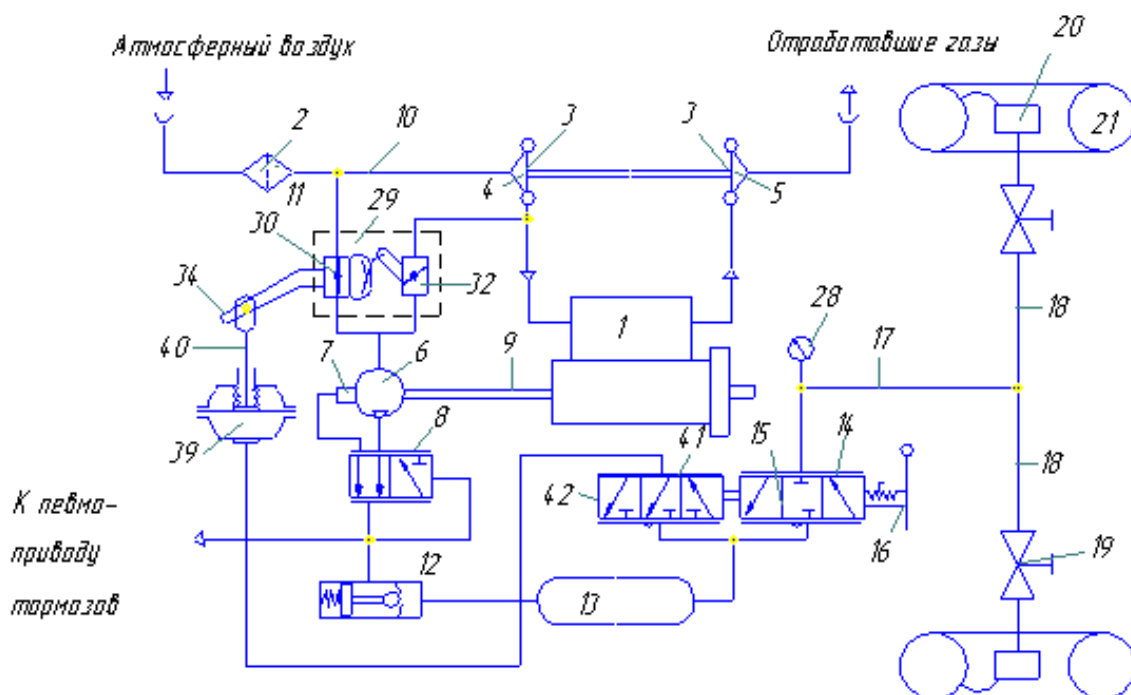


Рисунок 21 – Схема устройства регулирования давления воздуха в шинах транспортного средства

«Устройство содержит воздухоочиститель, подключенный к нему первым входом компрессор, приводимый от двигателя, имеющего турбокомпрессор, регулятор давления, установленный на выходе компрессора, и систему подачи воздуха к шинам через центральный пневматический кран управления, отличающееся тем, что, с целью повышения производительности накачки шин, компрессор выполнен со вторым входом, подключенным к выходу турбокомпрессора, первый и второй входы компрессора перекрыты соответственно первой и второй дроссельными заслонками с приводом управления от центрального пневматического крана, устанавливаемого в положение «Накачка шин» для открытия второй заслонки и закрытия первой» [26].

Устройство работает следующим образом.

«Для понижения давления воздуха в шинах транспортного средства водитель с помощью рукоятки 16 переводит золотник 15 центрального крана 14 из нейтрального положения в положение «Выпуск воздуха из шин». При этом магистральный трубопровод 17 сообщается с атмосферой. Давление воздуха в трубопроводах 17 и 18, следовательно, в шинах 21 транспортного средства, соединенных с ними посредством шинных кранов 19 и воздухоподводящих головок 20, уменьшается. В этом случае дроссельная заслонка 30 находится в открытом, а дроссельная заслонка 32 в закрытом положении. Воздушный компрессор 6, питающий пневматическую систему транспортного средства сжатым воздухом, работает без наддува.

Для повышения давления воздуха в шинах транспортного средства водитель с помощью рукоятки 16 переводит золотник 15 центрального крана 14 из нейтрального положения в положение «Накачка шин воздухом». При этом центральный кран 14 сообщает воздушный баллон 13 с магистральным трубопроводом 17. Воздух из баллона 13 поступает в трубопроводы 17 и 18, и далее через шинные краны 19 и воздухоподводящие головки 20 в шины 21 транспортного средства, Давление воздуха в трубопроводах и шинах повышается» [26].

Недостатком данного устройства является малый ресурс компрессора при длительной работе с большим противодавлением, которое поддерживается значительно большим по величине для надёжной работы тормозов, кроме того, устройство обладает малой скоростью снижения давления воздуха в шинах, что существенно влияет на проходимость транспортного средства.

На рисунке 22 показано устройство регулирования давления воздуха в шинах транспортного средства (АС 1062024 А).

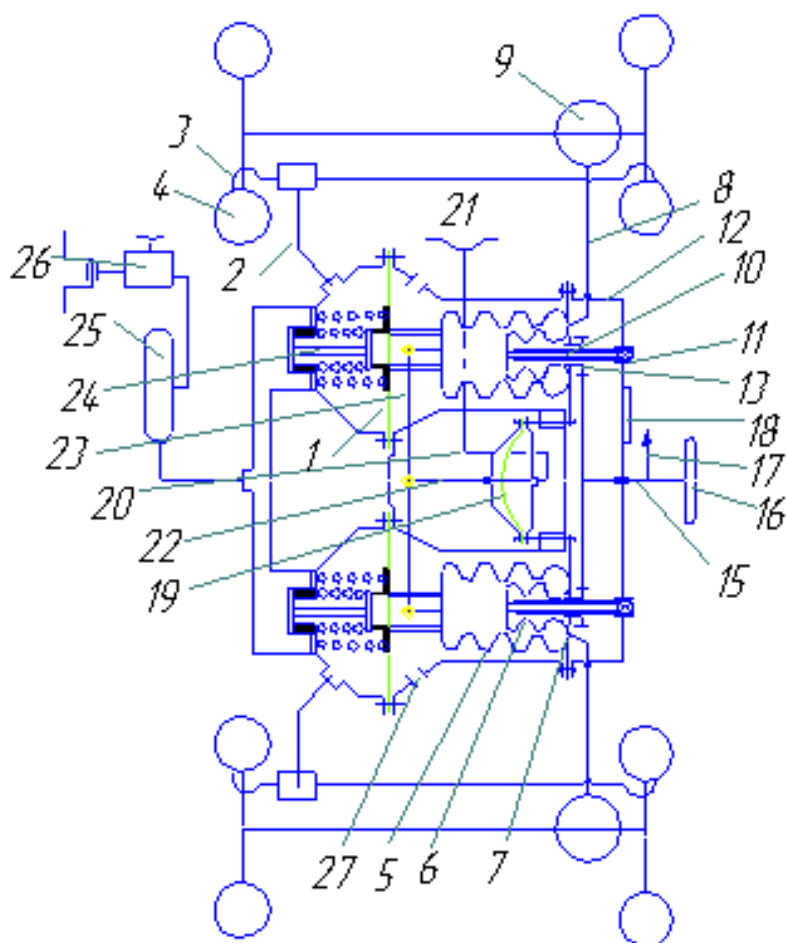


Рисунок 22 – Схема устройства регулирования давления воздуха в шинах транспортного средства

«Устройство позволяет регулировать давление воздуха в шинах в зависимости от распределения нормальных нагрузок на колеса и скорости движения транспортного средства, что приводит к улучшению параметров

плавности хода, меньшему расходу топлива и износу шин. Использование предлагаемого устройства позволяет повысить проходимость и тягово-сцепные качества транспортного средства на грунте с низкой несущей способностью и полностью реализовать тяговые возможности транспортного средства в случае ухудшения состояния опорной поверхности.

Цель изобретения – повышение тягово-сцепных качеств транспортного средства путем полуавтоматической корректировки давления в шинах в зависимости от типа и состояния опорной поверхности. Поставленная цель достигается тем, что в устройстве для регулирования давления воздуха в пневматических шинах транспортного средства, содержащем источник давления воздуха связанный трубопроводами с шинами через пневматические клапаны, и пневмомеханическую систему управления клапанами, в состав которой включены чувствительные к давлению в шинах и динамическому напору воздуха элементы, а также пневматические элементы, образующие герметичные контуры с аналогичными элементами чувствительными к изменению нормальной нагрузки на колеса транспортного средства, пневмомеханическая система управления клапанами снабжена сильфонами, включенными в герметичные контуры с возможностью изменения их объема посредством, например, винтового механизма» [11].

Недостатком данного устройства является малый ресурс компрессора и недостаточная скорость снижения давления воздуха в шинах, что влияет на проходимость транспортного средства. На воздухопроводах ведущих к отдельным колёсам, отсутствуют краны, с помощью которых от воздушной магистрали может быть отключено любое колесо или несколько колёс.

На рисунке 23 показано устройство централизованного управления давлением воздуха в шинах (АС 499143).

«Целью изобретения является упрощение управления давлением воздуха в шинах при выпуске воздуха из них и неработающем компрессоре.

Это достигается тем, что управляющие полости клапанов быстрого выпуска воздуха соединены через кран управления с полостью шин» [2].

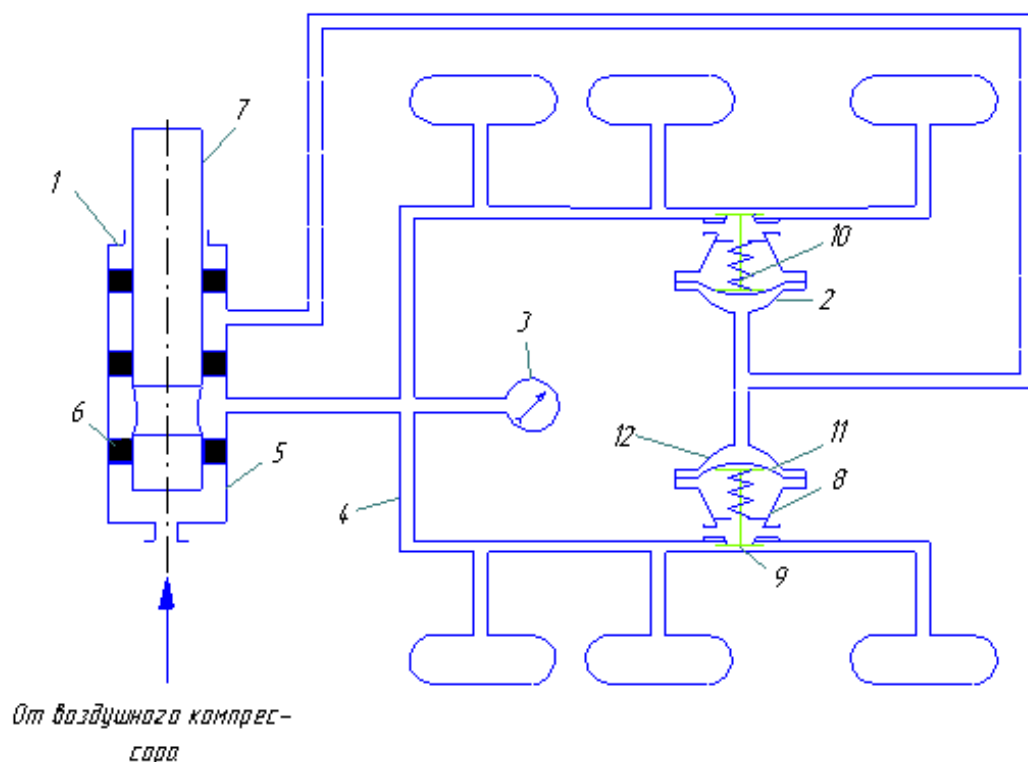


Рисунок 23 – Схема устройства централизованного управления давлением воздуха в шинах

«Устройство содержит золотниковый кран управления 1, клапаны 2 быстрого выпуска воздуха, воздушный манометр 3, служащий для контроля за величиной давления воздуха, и магистральные трубопроводы 4. Золотниковый кран управления состоит из корпуса 5, уплотнителей 6, обеспечивающих герметичность различных полостей крана, и золотника 7, соединяющего или разъединяющего между собой различные полости крана. Клапан быстрого выпуска воздуха состоит из корпуса 8, клапана 9, пружины 10, мембраны 11 и крышки 12. Воздух от компрессора подводится к золотниковому крану управления» [2].

Устройство работает следующим образом.

«При положении «Нейтраль» кран управления 1 отключает шины от воздушного компрессора и от управляющей полости клапана быстрого

выпуска воздуха, пружины 10 прижимает клапан 9 к седлу, закрывая выпускное отверстие; давление в шинах остается неизменным. При положении «Спуск» кран управления соединяет шины с управляющей полостью клапана быстрого выпуска воздуха. Воздух, воздействуя на мембрану 11, отжимает клапан 9 от седла. Истечение воздуха из шины происходит по коротким магистралям. Давление в шинах резко падает. При положении «Накачка» кран управления 1 соединяет шины с воздушным компрессором, управляющая полость клапана быстрого выпуска воздуха отключается от шин, пружина 10 и давление воздуха в шинах прижимают клапан 9 к седлу, закрывая выпускное отверстие; давление в шинах поднимается» [2].

Недостатком данного устройства является малый ресурс компрессора и недостаточная скорость снижения давления воздуха в шинах, а также на воздухопроводах ведущих к отдельным колёсам, отсутствуют краны, с помощью которых от воздушной магистрали может быть отключено любое колесо или несколько колёс, что не дает возможность при проколе одного из колес отключить целые колеса, для того чтобы направить весь подкачиваемый воздух в проколотое колесо.

3.2 Обоснование схемы системы регулирования давления в шинах трактора

Для регулирования давления воздуха в шинах трактора предлагается следующая схема, показанная на рисунке 24.

Схема содержит: пневмомагистраль питаемую от компрессора с включенными в нее ресиверами; кран управления давлением воздуха в шинах, имеющий ручной привод включения и связанный с полостями шин через шинные краны; двухпозиционный распределитель с пневматическим управлением и пружиной возврата, первый выход которого подключен к ресиверам, второй выход к крану управления давлением воздуха в шинах, а

управляющая полость соединена с выходом пневмоклапана включения двухпозиционного распределителя имеющего один привод включения с краном управления давлением воздуха в шинах; клапаны быстрого выпуска воздуха из шин, и трубопровод, соединяющий указанные узлы между собой.

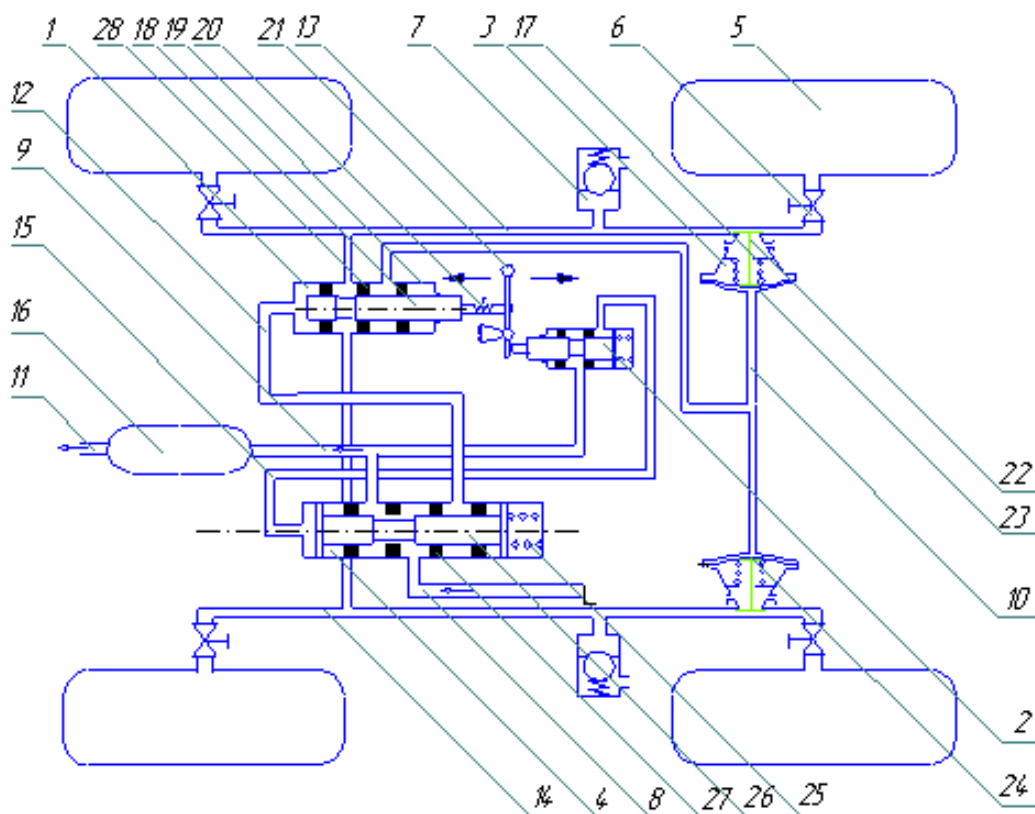


Рисунок 24 – Схема регулирования давления воздуха в шинах трактора

Устройство отличается от известных схем тем, что, в нем одновременно используются двухпозиционный распределитель с пневматическим управлением и пружиной возврата и клапаны быстрого выпуска воздуха из шин, имеющие управляющие полости, заполняемые сжатым воздухом при выпуске воздуха из шин. Кроме того, управление пневмоклапаном включения двухпозиционного распределителя, производится механически, одновременно с краном управления давлением воздуха в шинах. Такая компоновка делает схему более простой и надежной.

Использование двухпозиционного распределителя с пневматическим

управлением и пружиной возврата позволяет сократить время наполнения шин и увеличить ресурс компрессора за счет того что, компрессор работает с меньшим противодавлением, так как, пневмосистема тормозов, имеющая большее рабочее давление, чем давление в шинах, отключается от компрессора, а использование клапанов быстрого выпуска воздуха из шин имеющих управляющие полости, заполняемые сжатым воздухом при выпуске воздуха, позволяет повысить скорость снижения давления воздуха в шинах. Кроме того, управляющие полости клапанов быстрого выпуска воздуха соединены через кран управления с полостью шин, что позволяет снижать давление воздуха в шинах при неработающем компрессоре.

«Для сохранения безопасности движения с отключенным от ресиверов и тормозной системы компрессором во время подкачки шин, пружина возврата двухпозиционного распределителя отрегулирована на давление срабатывания, равное минимально допустимому давлению в тормозной системе.

Если давление в ресиверах понизится до этой величины, то пружина, преодолевая это давление, подводимое к управляющей полости двухпозиционного распределителя, вернет его в первоначальное положение, переключив компрессор на тормозную систему.

Подкачка шин возобновится только после достижения нормального давления в ресиверах» [15].

На воздухопроводах ведущих к отдельным колесам установлены краны, с помощью которых от воздушной магистрали может быть отключено любое колесо или несколько колес.

Преимущество данной схемы по сравнению с другими заключается в следующем:

- высокая производительность наполнения шин воздухом, что позволяет сократить время накачивания шин на 25-40%;
- высокая скорость снижения давления воздуха в шинах, что улучшает проходимость транспортного средства;

– большой рабочий ресурс компрессора.

Выводы по разделу.

Для повышения топливной экономичности и производительности машинно-тракторных агрегатов необходимо обеспечить оптимальное сцепление ведущих колес трактора с опорной поверхностью путем изменения давления воздуха в шинах.

Выполнен анализ существующих систем регулирования давления воздуха в шинах транспортных средств, который позволил установить преимущества и недостатки предлагаемых решений.

Предложена система регулирования давления воздуха в шинах с высокой скоростью наполнения шин воздухом и снижения давления воздуха.

4 Конструкторская разработка

4.1 Устройство и принцип работы системы регулирования давления в шинах

На рисунке 24 представлена принципиальная схема устройства регулирования давления воздуха в шинах.

В идущую от компрессора пневмомагистраль 8 включены ресиверы 16 (условно изображен один ресивер), из которых воздух по трубопроводу 11 подается в тормозную систему трактора. Кран 1 управления давлением воздуха в шинах связан с полостями шин 5 через шинные краны 6 трубопроводами 13 и 14. Для исключения повреждений пневмосистемы при включении накачки шин при закрытых шинных кранах 6 или превышении нормы давления установлен предохранительный клапан 7. Кран 1 имеет привод включения от рукоятки 21 и может устанавливаться в трех положениях: наполнение шин (крайнее левое положение рукоятки 21); разобщение полостей шин от пневмомагистрали (нейтральное положение изображено); выпуск воздуха из шин в атмосферу (крайнее правое положение рукоятки 21). Кран 7 имеет фиксатор 20 положения рукоятки 21 в каждом из указанных положений.

В пневмомагистраль 8 за компрессором включен двухпозиционный распределитель 4 имеющий два выхода с пневматическим управлением и пружиной 25 возврата. Один выход распределителя 4 подключен к ресиверам 16 посредством трубопровода 9. Второй выход распределителя 4 подключен к крану 1 управления давлением воздуха в шинах посредством трубопровода 12. Трубопровод 15 соединяет управляющую полость распределителя 4 с пневмоклапаном 2. Который имеет один привод включения с краном 1 управления давления воздуха в шинах от рукоятки 21.

В пневмомагистраль 13 и 14 включены клапаны 3 быстрого выпуска воздуха из шин, имеющие управляющие полости, заполняемые сжатым

воздухом посредством трубопровода 10 при выпуске воздуха из шин.

Золотниковый кран управления 1 состоит из корпуса 19, уплотнителей 28, обеспечивающих герметичность различных полостей крана, и золотника 18, соединяющего или разъединяющего между собой различные полости крана. Клапан быстрого выпуска воздуха состоит из корпуса, клапана 22, пружины 17, мембраны 24 и крышки 23. Спецификация на кран управления представлена в Приложении А (рисунок А.2).

Устройство работает следующим образом.

В нейтральном положении рукоятки 21 пневмоклапан 2 находится в нормально закрытом положении. Распределитель 4 удерживается пружиной 25 в крайнем левом положении, при котором пневмомагистраль 8 связана с первым выходом распределителя. Через трубопровод 9 воздух от компрессора поступает в ресивер и далее к агрегатам тормозной системы через трубопровод 11. Давление в тормозной системе поддерживается не ниже 0,53 МПа, а давление в шинах остается постоянным.

При необходимости подкачки шин, водитель переводит рукоятку 21 привода включения крана 1 в крайнее левое положение, соединяя трубопроводы 12, 13 и 14. При этом рукоятка 21 одновременно надавливает на шток пневмоклапана 2. Последний соединяет трубопроводы 9 и 15, при этом воздух от ресиверов 16 подается в управляющую полость распределителя 4 и, преодолевая сопротивление пружины 25, переводит распределитель 4 в правое положение, соединяя второй выход с компрессором. Воздух от компрессора через пневмомагистраль 8 поступает в полости шин 5 через распределитель 4, трубопровод 12, кран 7, трубопровод 13 и 14, клапаны 3 быстрого выпуска воздуха из шин и шинные краны 6.

Спецификация на клапан быстрого выпуска воздуха представлена в Приложении А (рисунок А.1).

Давление в шинах 5 изменяется в пределах 0,08-0,14 МПа, при этом компрессор на протяжении всего процесса наполнения шин работает с меньшим противодавлением, чем в тормозной системе (0,53-0,75 МПа). За

счет этого увеличивается производительность компрессора, снижаются нагрузки, что способствует увеличению ресурса компрессора, и значительно сокращается время наполнения шин, улучшая тактико-технические характеристики транспортного средства.

Прекращение подкачки шин осуществляется водителем путем перевода рукоятки 21 привода включения крана 1 в нейтральное положение. О достижении требуемого давления в шинах водитель может судить по показаниям штатного манометра (условно не показан). Шток пневмоклапана 2 возвращается в нормально закрытое положение, прекращая подачу воздуха по трубопроводу 15 в управляющую полость распределителя 4, который пружиной 25 переключает пневмомагистраль 8 на ресиверы.

Для снижения давления воздуха в шинах рукоятку 21 переводят в крайнее правое положение, при этом кран 1 соединяет трубопровод 13 и 14 с управляющими полостями клапанов быстрого выпуска воздуха из шин посредством трубопровода 10. Воздух, воздействуя на мембрану 24, отжимает клапан 22 от седла. Истечение воздуха из шины происходит по коротким магистралям. Давление в шинах резко падает.

4.2 Расчет системы и ее элементов

Расчет стопорного устройства крана управления давлением воздуха в шинах.

Стопорное устройство в кране выполнено в виде шарикового фиксатора. Он предотвращает самопроизвольное перемещение золотника и обеспечивает заданный его ход при включении или выключении крана, благодаря пружине фиксатора, которая противодействует выталкиванию шарика из канавки штока, обеспечивая прижатие трущихся поверхностей. Размеры элементов фиксатора выбирают из конструктивных соображений [23].

Расчетная схема шарикового фиксатора показана на рисунке 25.

Спроектируем на ось X силы, действующие на шарик.

$$\Sigma X = F_n \cdot \cos \gamma - F_t \cdot \sin \gamma - Q = 0, \quad (11)$$

где F_n – нормальная сила в контакте;

F_t – сила трения;

γ – угол канавки конуса, принимаем равным 35° ;

Q – усилие необходимое для перемещения штока.

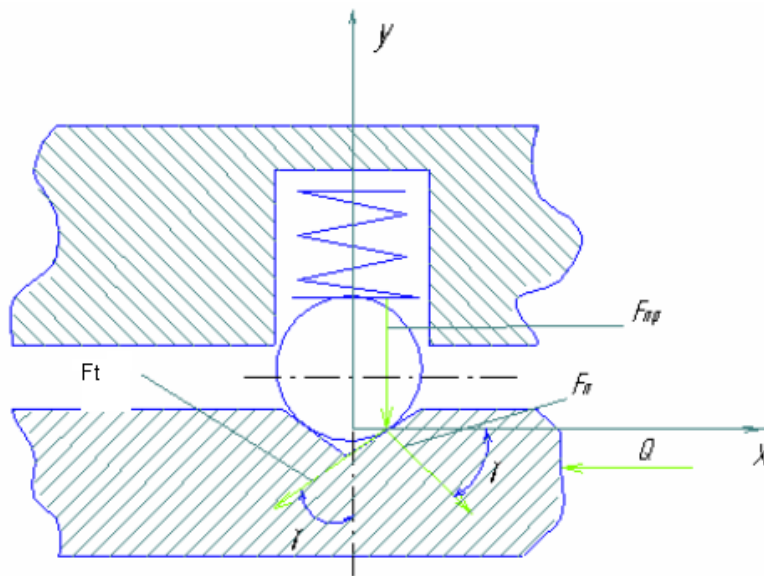


Рисунок 25 – Расчетная схема шарикового фиксатора

Определим из выражения (11) величину нормального усилия, так как в фиксаторе используется шарик то силой трения F_t можно пренебречь:

$$F_n = \frac{Q}{\cos \gamma}. \quad (12)$$

Найдем сумму проекций всех сил на ось Y.

$$\Sigma Y = F_{np} - F_n \cdot \sin \gamma = 0. \quad (13)$$

Подставляя в формулу (13) значение F_n по выражению (12) определим усилие пружины фиксатора.

$$F_{np} = Q \cdot tg\gamma. \quad (14)$$

Зададимся усилием необходимым для перемещения штока равным 5 Н. Тогда F_{np} будет равно:

$$F_{np} = 5 \cdot tg 35^\circ = 3,5 \text{ Н.}$$

По расчетной величине усилия F_{np} определяем размеры пружины фиксатора.

«Находим граничные значения силы пружины при максимальной деформации по следующей формуле:

$$F_3 = F_{np} / 1 - \delta \quad (15)$$

где δ – относительный инерционный зазор пружины сжатия, для пружин сжатия I и II классов, принимаем равным от 0,05 до 0,25» [19].

$$F_3 = 3,5 / 1 - 0,05 \div 3,5 / 1 - 0,25 = 3,6 \div 4,7 \text{ Н.}$$

В интервале от 3,6 до 4,7 Н в ГОСТ 13766 для пружин I класса, разряда 1 имеются следующие силы F_3 : 3,75; 4,00; 4,25 и 4,5 Н.

Исходя из заданных размеров диаметра 6 мм и стремления обеспечить наибольшую критическую скорость, останавливаемся на витке со следующими данными (номер позиции 95): $F_3 = 4,5$ Н; диаметр проволоки $d = 0,45$ мм; жесткость одного витка $c_1 = 2,354$ Н/мм; ; наибольший прогиб

одного витка $s'_3 = 1,911$ мм.

«Принадлежность к I классу проверяем путем определения отношения v_{\max} / v_K , для чего предварительно определяем критическую скорость v_K по следующей формуле при $\delta = 0,25$.

$$v_K = \frac{\tau_3 (1 - F / F_3)}{\sqrt{2G\rho}} \cdot 10^3, \quad (16)$$

где τ_3 – максимальное касательное напряжение пружины, назначается по ГОСТ 12764 равным 720 Н/мм²;

G – модуль сдвига, для пружинной стали равен $7,85 \cdot 10^4$ МПа;

ρ – динамическая плотность материала, для пружинной стали равен $8 \cdot 10^3$ Н с²/м⁴» [11].

$$v_K = 780 \cdot 0,22 / 35,1 = 4,9 \text{ м/с.}$$

Наибольшую скорость перемещения подвижного конца пружины при нагружении или разгрузке берем равной $2,5$ м/с.

$$v_{\max} / v_K = 2,5 / 4,9 = 0,51 < 1.$$

Полученная величина указывает на отсутствие соударения витков и, следовательно, выбранная пружина удовлетворяет заданным условиям.

Определение остальных размеров производится по следующим формулам:

$$c = \frac{F_{np} - F_1}{h}, \quad (17)$$

где c – жесткость пружины, Н/мм;

F_1 – сила пружины при предварительной деформации, равна 2 Н;

h – рабочий ход пружины, равен 2 мм.

$$c = \frac{3,5 - 2}{2} = 0,75 \text{ Н/мм.}$$

Число рабочих витков пружины определяем по формуле:

$$n = \frac{c_1}{c}, \quad (18)$$

$$n = \frac{2,354}{0,75} = 3,1.$$

Уточненная жесткость имеет значение:

$$c = \frac{c_1}{n}, \quad (19)$$

$$c = \frac{2,354}{3,1} = 0,75 \text{ Н/мм.}$$

При полутора нерабочих витков полное число витков находим по формуле:

$$n_1 = n + n_2, \quad (20)$$

$$n_1 = 3,1 + 1,5 = 4,6.$$

«Определяем средний диаметр пружины по формуле:

$$D = D_1 - d, \quad (21)$$

где D_1 – предварительно принятый наружный диаметр пружины, мм»
[11].

$$D = 6 - 0,45 = 5,55 \text{ мм.}$$

Предварительная деформация пружины находится по формуле:

$$s_1 = \frac{F_1}{c}, \quad (22)$$

$$s_1 = \frac{2}{0,75} = 2,67 \text{ мм.}$$

Рабочая деформация пружины:

$$s_2 = \frac{F_{np}}{c}, \quad (23)$$

$$s_2 = \frac{3,5}{0,75} = 4,67 \text{ мм.}$$

Максимальная деформация пружины:

$$s_3 = \frac{F_3}{c}, \quad (24)$$

$$s_2 = \frac{4,5}{0,75} = 6 \text{ мм.}$$

Длина пружины при максимальной деформации:

$$l_3 = (n_1 + 1 - n^3) \cdot d, \quad (25)$$

$$l_3 = (4,6 + 1 - 1,5^3) \cdot 0,45 = 1,62 \text{ мм.}$$

Длина пружины в свободном состоянии:

$$l_0 = l_3 + s_3, \quad (26)$$

$$l_0 = 1,62 + 6 = 7,62 \text{ мм.}$$

Длина пружины при предварительной деформации:

$$l_1 = l_0 - s_1, \quad (27)$$

$$l_1 = 7,62 - 2,67 = 4,95 \text{ мм.}$$

Длина пружины при рабочей деформации:

$$l_2 = l_0 - s_2, \quad (28)$$

$$l_2 = 7,62 - 4,67 = 2,95 \text{ мм.}$$

Шаг пружины в свободном состоянии:

$$t = s'_3 + d, \quad (29)$$

$$t = 1,911 + 0,45 = 2,361 \text{ мм.}$$

Расчет клапана быстрого выпуска.

Величина диаметра заделки мембраны определяется по следующей формуле:

$$D = 2,15 \sqrt{\frac{P}{(1 + \beta + \beta^2) \cdot p_M}}, \quad (30)$$

где p – нагрузка на шток камеры, принимаем равной 20 кН;

p_M – избыточное магистральное давление, при расчете силовых мембранных камер можно принимать $p_M = p$, принимаем равным 1,4 МПа;

β – коэффициент ужесточения мембраны.

$$\beta = \frac{D_1}{D}, \quad (31)$$

где D_1 – диаметр опорного диска, мм;

D – диаметр задела, мм.

Величину коэффициента ужесточения мембраны обычно принимают в пределах от 0,6 до 0,8. При меньших значениях коэффициента усилие, развиваемое камерой, более равномерно в пределах хода, но эффективная площадь мембраны снижена, что уменьшает усилие, снимаемое со штока.

Коэффициента больше 0,8 выбирать не рекомендуется, поскольку это приводит к уменьшению допустимого хода штока и увеличению нелинейности статистической характеристики мембраны.

$$D = 2,15 \sqrt{\frac{20}{(1 + 0,7 + 0,7^2) \cdot 1,4 \cdot 10^3}} = 0,174 \text{ м.}$$

Полученную величину диаметра заделки округляем до ближайшего большего по ГОСТ 6636-69 «Нормальные линейные размеры» значения и равна 175 мм.

Толщину плоских резиновых мембран без гофра определяют по формуле:

$$\delta = 0,175 \cdot \frac{pD(1 - \beta^2)}{[\tau]}, \quad (32)$$

где $[\tau]$ – допускаемые напряжения на срез, МПа.

Допускаемые напряжения для листовой резины с одной тканевой прокладкой (прочность на разрыв 5 МПа) можно принимать в зависимости от толщины резины (таблица 10).

Таблица 10 – Зависимость допускаемых напряжений на срез от толщины резины

| Показатель | Значение | | |
|----------------|----------|-----|-----|
| δ , мм | 2,7 | 5 | 7 |
| $[\tau]$, МПа | 3 | 2,4 | 2,1 |

$$\delta = 0,175 \cdot \frac{1,4 \cdot 0,175 \cdot (1 - 0,7^2)}{2,4} = 0,009 \text{ м.}$$

Величина хода штока клапана определяется рационально допустимой величиной прогиба плоской мембраны. В таблице 11 даны рекомендуемые значения максимального хода штока клапанов с плоскими мембранами в зависимости от магистрального давления в сети.

Таблица 11 – Зависимость хода штока от магистрального давления в сети

| Показатель | Значение | | | |
|------------|----------|-------|-------|-------|
| p , МПа | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| h , мм | 0,06D | 0,08D | 0,10D | 0,12D |

Величина хода штока клапана будет равна 3,9 мм.

Выводы по разделу.

Выполнено описание устройства и принципа работы системы регулирования давления воздуха в шинах при накачивании и снижении давления воздуха в шинах.

Рассчитано стопорное устройство крана управления, фиксирующее ход штока в заданных пределах при включении и выключении подкачки воздуха, а также клапаны выпуска воздуха, позволяющие быстро сбрасывать давление в шинах.

5 Безопасность и экологичность проектных решений

«Рост профессиональных заболеваний и производственного травматизма, числа техногенных катастроф и аварий, неразвитость профессиональной, социальной и медицинской реабилитации пострадавших на производстве отрицательно сказывается на жизнедеятельности людей труда, их здоровье, приводят к дальнейшему ухудшению демографической ситуации в стране» [24].

В данном разделе рассматривается влияние принятых конструкторских решений по модернизации трактора на опасности, возникающие при эксплуатации трактора, так как безопасность эксплуатации, является важным условием при принятии конструкторских решения, поскольку она непосредственно влияет на жизнь и здоровье людей работающих на производстве. Основная задача техники безопасности заключается в создании благоприятных и безопасных условий труда на рабочем месте.

5.1 Характеристика объекта проектирования

Объектом проектирования является система изменения (регулирования) давления воздуха в шинах трактора «Кировец».

Цель проектирования – повышение производительности и экономичности трактора при работе на снежном покрове. Система содержит (рисунок 26): пневмомагистраль питаемую от компрессора с включенными в нее ресиверами; кран управления давлением воздуха в шинах, имеющий ручной привод включения и связанный с полостями шин через шинные краны; двухпозиционный распределитель с пневматическим управлением и пружиной возврата, первый выход которого подключен к ресиверам, второй выход к крану управления давлением воздуха в шинах, а управляющая полость соединена с выходом пневмоклапана включения двухпозиционного распределителя имеющего один привод включения с краном управления

давлением воздуха в шинах; клапаны быстрого выпуска воздуха из шин, и трубопровод, соединяющий указанные узлы между собой.

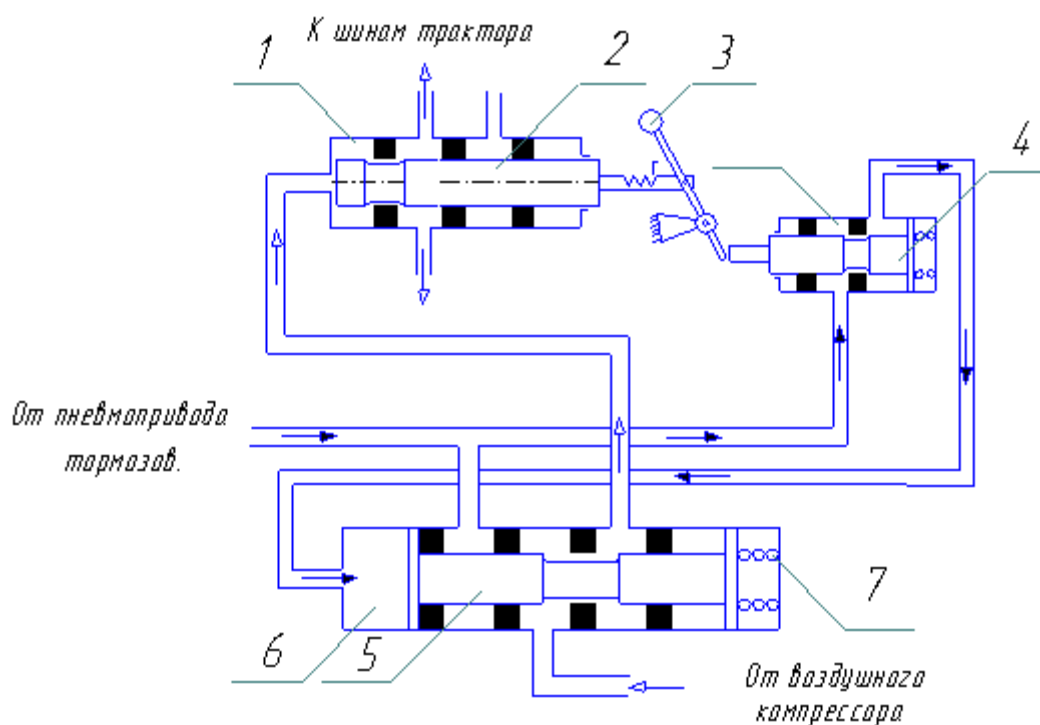


Рисунок 26 – Схема системы регулирования давления воздуха в шинах

5.2 Обеспечение безопасности при работе трактора

Для того чтобы снизить время наполнения шин воздухом и увеличить ресурс компрессора в данной схеме используется двухпозиционный распределитель 6 с пневматическим управлением и пружиной возврата 7, который отключает во время подкачки шин воздухом пневмосистему тормозов от компрессора имеющую большее рабочее давление, чем давление в шинах. Поэтому пневмосистема тормозов во время накачивания шин остается без подпитки воздухом, создавая при этом опасные условия при работе трактора.

Для сохранения безопасности движения с отключенным от ресиверов и тормозной системы компрессором во время подкачки шин, пружина возврата двухпозиционного распределителя 7 отрегулирована на давление

срабатывания, равное минимально допустимому давлению в тормозной системе. Если давление в ресиверах понизится до этой величины, то пружина, преодолевая это давление, подводимое к управляющей полости двухпозиционного распределителя, вернет его в первоначальное положение, переключив компрессор на тормозную систему. Подкачка шин возобновится только после достижения нормального давления в ресиверах.

Кроме того безопасность использования машино-тракторных агрегатов зависит от качества их подготовки к эксплуатации. При техническом обслуживании в первую очередь необходимо проверять исправность механизмов управления трактора, надежность крепления деталей ходовой части, исправность предохранительных и сигнализирующих устройств, наличие и исправность защитных ограждений, блокировочных устройств.

Свободный ход механизмов управления, тормозной путь, ход рычагов должны полностью соответствовать инструкциям или другой технической документации. Рулевое колесо и механизм поворота должны поворачиваться легко, без заеданий, так как при неисправном и неправильно отрегулированном рулевом колесе управлять трактором трудно.

При проверке состояния ходовой части трактора особое внимание следует обращать на надежность крепления дисков колес и давление в шинах. Следует иметь в виду, что рекомендуемые давления в шинах для тракторов на транспортных работах и при навешивании тяжелых машин увеличивают в диапазоне от 1,3 до 1,5 раза, а для работ на мягком грунте, наоборот, снижают примерно на 10 %.

5.3 Удобство обслуживания системы

К регламентированным операциям обслуживания трактора относятся следующие виды работ: очистные, контрольно-регулирующие, контрольно-крепежные, контрольно-заправочные, а также работы по смазыванию и консервации. Удобство и безопасность обслуживания во многом зависят от

уровня технологии и совершенства оборудования, применяемого при обслуживании трактора. В значительной мере оно определяется конструкцией машины.

Удобство обслуживания не регламентируют конкретными показателями безопасности его проведения, но оценивают экспертно, сравнивая с удобством серийно выпускаемых конструкций машин. Основным критерием при сравнении являются свободный доступ штатным инструментом к местам обслуживания и минимальное число обслуживаемых механизмов и систем.

Контрольно-регулирующие операции в тракторе сведены к минимуму, а места их проведения – имеют хороший доступ, без дополнительной разборки и снятия агрегатов или механизмов, не имеющих отношения к регулируемому устройству. При контроле за техническим состоянием механизмов вместо ручных устройств и систем целесообразно использовать приборы.

Все виды крепежных деталей трактора соответствуют стандартным ключам и имеют свободный доступ. При этом применяются современные и надежные средства против ослабления крепежа.

5.4 Инструкция по охране труда для тракториста

Общие требования безопасности:

- к управлению трактором допускаются лица имеющие удостоверение тракториста-машиниста;
- свободный ход механизмов управления, тормозной путь должны полностью соответствовать инструкциям или другой технической документации;
- рулевое колесо должно поворачиваться легко, без заеданий;
- в кабине не должно быть посторонних предметов, особенно на полу.

Требования безопасности перед началом работы:

- необходимо проверить комплектность, техническую исправность и полностью заправить трактор и агрегатируемую машину;
- подавая трактор задним ходом к прицепной машине, необходимо проявлять особую осторожность: двигаться следует на 1-й передаче при малой частоте вращения коленчатого вала двигателя; если тракторист не видит сближающиеся прицепные устройства, то его действиями должен руководить другой работник, находящийся вне пути движения трактора;
- соединять сниту прицепной машины с прицепной скобой трактора следует при остановленном тракторе и выключенной передаче;
- перед началом основной работы целесообразно оградить опасные места (овраги, обрывы, канавы, другие одиночные или групповые препятствия) вешками или вспомогательными полосами.

Требования безопасности во время работы:

- запрещается при движении трактора сходить и входить в кабину, стоять и сидеть на подножках, лестницах, крыльях, навесном устройстве;
- при работающем двигателе не следует залезать под трактор для проведения каких-либо работ;
- при развороте следить за тем, чтобы навешиваемая машина ни за что не задевала;
- начинать поворот только после того, как рабочие органы машины выглублены из почвы;
- перед каждым входом в кабину трактора водитель должен тщательно очистить обувь от грязи;
- не производить крутых поворотов на высоких транспортных скоростях;
- не проводить регулировочные, очистные и другие работы под поднятой машиной;

- при работе с прицепщиком тракторист обязан иметь постоянную двухстороннюю связь с ним;
- при длительных переездах учитывать, что техническими условиями на изготовление трактора допускается усадка штоков гидроцилиндров подъема на 30 мм за 30 мин, и поэтому периодически контролировать и корректировать высоту подъема навесной машины;
- при работе в тумане или во время дождя, когда видимость недостаточная, необходимо включать свет и периодически подавать сигналы.

Требования безопасности в аварийных ситуациях:

- необходимо остановить трактор и заглушить двигатель;
- убедиться, что во время аварии никто не пострадал, а если имеются пострадавшие оказать им первую доврачебную помощь и вызвать скорую помощь;
- принять необходимые меры для устранения аварийной ситуации;
- сообщить о случившемся лицам ответственным за безопасность технологического процесса.

Требования безопасности по окончании работ:

- при разъединении МТА под сницу следует подвести подставку, чтобы рабочий не получил травму;
- очистить трактор и рабочие органы орудия от налипшей земли и растительных остатков;
- при постановке на стоянку убедиться, что трактор не может самопроизвольно покатиться;
- убедиться в исправности всех систем и механизмов;
- при работе в две смены, необходимо сообщить пересменщику о техническом состоянии трактора, и возникших неисправностях во время работы.

5.5 Экологичность проекта

Охрана природы это наука, занимающаяся теоретическим обоснованием и разработкой практических мероприятий по охране окружающей среды, восстановлению и рациональному использованию природных ресурсов

Экологические проблемы в нашей стране являются страшной бедой, которая захватывает все отрасли народного хозяйства. На сегодняшний день степень воздействия человека на окружающую среду практически сравнивается с силой природы, что вызывает тревогу, так как это воздействие может принести к необратимым процессам, грозящим губительным изменением природной среды.

В сельском хозяйстве основной экологической проблемой является переуплотнение почвы движителями тракторов и загрязнение окружающей среды нефтепродуктами.

«Как биологическая среда почва остро реагирует не только на внешние воздействия естественного характера (дождь, мороз, ветер и так далее), но и на результаты деятельности человека. Авторы многих научных работ считают основной причиной снижения плодородия переуплотнение почвы связанная с механизацией ее обработки. Переуплотнение почвы ведет к возникновению явления пространственной тесноты, возрастает сопротивление развитию корней. Механическое воздействие движителей на почву не исчерпывается только уплотнением и уменьшением пористости, снижающей возможности функционирования макро и микроорганизмов, а также возможности развития корневой системы растений. От контакта с движителями разрушается структура верхнего слоя почвы – она разрушается. Вследствие этого усиливаются процессы эрозии, из почвы более интенсивно выветриваются и вымываются наиболее плодородные компоненты» [28].

Одним из направлений снижения вредного воздействия на почву является уменьшение давления движителей трактора, которого можно

добиться путем снижения давления воздуха в шинах, применения колесной формулы 6К6, и при сдваивании колес.

Для снижения вредного воздействия нефтепродуктов на окружающую среду необходимо: контролировать использование нефтепродуктов, не допускать попадания их в почву, в воду, в растительность; организовывать сбор, хранение и утилизацию отработанных нефтепродуктов, то есть, при замене отработанных масел, промывочных жидкостей производить сбор их в специально оборудованные емкости для временного хранения, далее из этих емкостей отработанные нефтепродукты сдавать нефтехозяйствам, где, впоследствии они пройдут очистку и переработку; использованную обтирочную ветошь необходимо складывать в специально оборудованные для этого места, так как возможно ее самовозгорание, а также она может загрязнять окружающую среду.

6 Экономическое обоснование рациональных параметров и режимов работы тракторов «Кировец» в составе почвообрабатывающих агрегатов

«При определении экономической эффективности техники необходимо соблюдать принцип сопоставимости, следует пользоваться тем составом показателей, система которых наиболее ярко отображает экономическую эффективность по важнейшему рабочему процессу или группе операций, на которых проектируется внедрение новейшей техники.

При расчетах сравниваемые тракторы с установленными параметрами поставлены в одинаковые обобщенные условия со строгим соблюдением правил комплектования МТА» [6].

«Общепринятым критерием эффективности использования мобильных энергетических средств при выполнении технологических процессов в составе МТА является показатель приведенных эксплуатационных затрат денежных средств:

$$C_{II} = \frac{C_{IIР}}{W_{II} \cdot T_{Г} \cdot \tau_3}, \quad (33)$$

где $C_{IIР}$ – затраты на выполнение годового объема обобщенного технологического процесса;

W_{II} – техническая производительность, га /ч;

$T_{Г}$ – годовой фонд времени работы тракторов, ч;

τ_3 – коэффициент, учитывающий работу трактора в летний период» [33].

«Стоимость механизированных работ определяется по формуле:

$$C_{IIР} = C_{ТР} + C_A + C_{ТО} + C_3 + C_{ЭМ} + C_B, \quad (34)$$

где C_{TP} – капитальные вложения;

C_A – амортизационные отчисления;

C_{TO} – затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание с учетом хранения;

C_3 – заработная плата;

$C_{ЭМ}$ – стоимость израсходованных эксплуатационных материалов;

C_B – затраты на выполнение вспомогательных операций при работе трактора» [33].

«Составляющие приведенных затрат, капитальные вложений, отчисления на амортизацию и текущий ремонт определяются ценой приобретения трактора и соответствующими нормативными коэффициентами эффективности капитальных вложений, отчислений на амортизацию, текущий ремонт и техническое обслуживание с учетом хранения и продолжительности работы в летний период:

$$C_{TP} + C_A + C_{TO} + C_{BC} = \tau_{Л} Ц (E_H + \overline{K}' (K_A + K_{TO})) \quad (35)$$

где $Ц$ – цена трактора;

E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

K_A – нормативный коэффициент амортизационных отчислений;

K_{TO} – коэффициент, учитывающий стоимость выполнения текущего ремонта и технического обслуживания;

\overline{K}' – коэффициент, учитывающий вспомогательные затраты» [33].

«Расходы на заработную плату определяются тарифной ставкой с начислениями, размер которой зависит от вида выполняемой работы квалификации тракториста и типа трактора. Поскольку сравниваемые тракторы эксплуатируются в одних условиях трактористами с одинаковой

квалификацией и зарплатой Z_{II} , затраты на оплату труда будут определяться по формуле:

$$C_3 = Z_{II} \cdot \tau_{II} \cdot T_z, \quad (36)$$

где Z_{II} – заработная плата механизатора VI разряда с начислениями коэффициентов доплат за качество, стаж, районный коэффициент, праздничные дни, отпускные, отчисления в социальные фонды ($K_K = 1,8$; $K_C = 1,4$; $K_P = 1,3$; $K_{II} = 1,13$; $K_O = 1,1$; $K_{II} = 1,21$)» [33].

«При установленных нормативах расхода смазочных материалов, известной стоимости основного топлива и смазки затраты денежных средств на эксплуатационные материалы определяются из выражения:

$$C_{ЭМ} = K \cdot \tau_{II} \cdot G_{TP} \cdot T_G \cdot (C_T + q_M \cdot C_M), \quad (37)$$

где C_T – стоимость основного топлива, р./кг;

C_M – стоимость смазочных материалов, р./кг;

K – коэффициент учитывает расход топлива на режиме холостого хода МТА и при работе двигателя на остановках;

G_{TP} – расход топлива, кг/ч;

q_M – нормативный коэффициент расхода смазочных материалов от расхода топлива» [33].

При выполнении расчетов, независимо от типа и энергонасыщенности трактора, следует принимать коэффициент $K = 1,18 - 1,2\%$.

$$G_T = \frac{N_{\text{э}} \cdot g_{EH}}{1000}, \quad (38)$$

где $N_{\text{э}}$ – мощность двигателя, кВт;

g_{EH} – удельный расход топлива, г/кВт ч.

«Прибыль от предлагаемых модернизационных решений Π по улучшению технологических свойств трактора рассчитывается по формуле:

$$\Pi = (C_{\Pi} - C'_{\Pi}) \cdot W'_{\Pi} \cdot T_{\Gamma} \tau_{\Pi}, \quad (39)$$

где C'_{Π} и W'_{Π} – приведенные эксплуатационные затраты и показатель производительности модернизированного трактора» [33].

«Срок окупаемости инвестиций T_o на реализацию модернизационных решений определится по зависимости [21]:

$$T_o = K/\Pi, \quad (40)$$

где K – сумма инвестиций» [33].

При расчете показателей экономической эффективности базой для сравнения выбираем серийные трактора и трактора со сдвоенными колесами.

При сравнении показателей экономической эффективности тракторов между базовым трактором и модернизированным, расчет экономических показателей проводим по [6, 7, 21, 24, 33].

На основании полученных результатов и технических характеристик был проведен расчет обобщенного показателя производительности тракторов базовой комплектации и тракторов со сдвоенными колесами для летних условий Поволжского региона. Наиболее высокой потенциальной производительностью, приведенной относительно среднего значения по операциям, обладает трактор К-744Р2 с наибольшим эксплуатационным весом мощность самая низкая производительность у трактора К-744Р.

«При определении показателя стоимости выполнения комплекса летних механизированных работ в качестве главного параметра принята приведенная стоимость обобщенного технологического процесса. Значения обобщенного показателя стоимости рассчитаны по затратам на летний

период (800 ч.) на стерне и на поле подготовленном под посев одного года эксплуатации с учетом расхода топлива на холостом ходу и остановках, вспомогательных затрат» [33].

Сопоставление обобщенного показателя стоимости технологического процесса для приведенной группы серийных тракторов общего назначения семейства «Кировец» показал его увеличение при повышении мощности двигателя и соответственно расхода топлива, эксплуатационных материалов, поскольку затраты на их приобретение составляют от 40 до 50% от общих затрат. Лучший стоимостный показатель на стерне и на поле под посев имеет тракторы штатной комплектации К-744Р по сравнению с максимальным показателем трактора К-744Р2. Наиболее низких затрат со сдвоенными колесами на выполнение технологического процесса трактор К-744Р не развивает, вследствие отсутствия оптимально передачи входящей в рациональный тяговый диапазон и приводит к увеличению стоимости выполнения операций C_{II} на 2,4%.

Улучшение стоимостного показателя за счет применения сдвоенных колес и режимов функционирования МТА у тракторов К-701 и К744Р1/Р2 в среднем достигает 12%. Причем максимальное снижение стоимости технологического процесса характерно для тракторов при применении сдвоенными колес и обусловлено, прежде всего, повышением производительности на 4,4-18,6% снижением погектарного расхода топлива в режиме рабочего хода на 4-6%.

«Минимальное значение потенциального показателя приведенных эксплуатационных затрат при выполнении всего объема работ при сдваивании колес на стерне, имеет трактор К-744Р1 $C_{II} = 443,35$ р./га, а максимальное К-744Р2 $C_{II} = 489,5$ р./га. Снижение этого показателя, обусловленное адаптационными ращениями и сдваиванием колес, составляет у тракторов разных марок от 4,4 до 9%. Причем максимальный эффект при сдваивании колес на стерне получен для трактора К-744Р1.

Минимальное значение потенциального показателя приведенных

эксплуатационных затрат при выполнении всего объема работ на поле под посев, имеет трактор К-744Р2Б $C_{II} = 352,33$ р./га, а максимальное К-744Р $C_{II} = 397,27$ р./га. Снижение этого показателя, обусловленное адаптационными рашениями и сдваиванием колес, составляет у тракторов разных марок кроме К744РБ от 3 до 9%. Причем максимальный эффект при сдваивании колес получен для трактора К-744Р2 $C_{II} = 397,27$ р./га» [14].

Срок окупаемости установки сдвоенных колес на трактора кроме К744Р (на который не рекомендуется установка сдвоенных колес) достигает 0,5-2 сезона. При сравнении тракторов со сдвоенными колесами с базовым не окупается только модернизированный трактор К-744Р, для тракторов К-744Р1/Р2 и К-701 сдваивание колес обеспечивает рост производительности, и снижения затрат.

Таблица 12 – Техничко-экономические показатели на стерне

| Показатель | Марка трактора | | | |
|---|----------------|---------------|----------------|----------------|
| | К701/К701Б | К744Р/К744РБ | К744Р1/К744Р1Б | К744Р2/К744Р2Б |
| Цена трактора млн. р. | 2,164/2,244 | 2,29/2,73 | 2,65/2,73 | 2,86/2,94 |
| W_{II} – производительность на вспашке ПЛП-9-35, га/ч | 1,94/2,13 | 1,99/1,95 | 2,01/2,46 | 2,22/2,42 |
| G_W – расход топлива, кг/га | 25,56/23,28 | 21,10/21,53 | 24,98/20,41 | 25,4/23,3 |
| C_{II} – приведенные эксплуатационные затраты, р./га | 1018,76/940,34 | 913,93/949,88 | 964,69/793,83 | 1068,81/989,84 |
| $П_C$ – прибыль от установки сдвоенных колес, р. | 0/21714,73 | -9106,87 | 60728,76 | 24809,52 |
| W_{II} – производительность с 3-АКП-4, га/ч | 5,09/5,42 | 4,93/4,89 | 5,22/6,05 | 5,82/6,22 |
| G_W – расход топлива, кг/га | 9,74/9,15 | 8,52/8,59 | 9,62/8,3 | 9,69/9,07 |
| C_{II} – приведенные эксплуатационные затраты, р./га | 389,12/370,24 | 369,95/381,98 | 414,41/359,13 | 407,17/385,19 |
| $П_C$ – прибыль от установки сдвоенных колес, р. | 0/13305,72 | 0/-7562,77 | 0/41059,04 | 0/17857,41 |
| W_{II} – производительность с ЛДГ-20, га/ч | 21,05/22,19 | 20,00/19,68 | 21,59/24,47 | 24,15/25,59 |
| G_W – расход топлива, кг/га | 2,36/2,24 | 2,1/2,13 | 2,34/2,05 | 2,33/2,20 |

Продолжение таблицы 12

| Показатель | Марка трактора | | | |
|---|----------------|---------------|----------------|----------------|
| | К701/К701Б | К744Р/К744РБ | К744Р1/К744Р1Б | К744Р2/К744Р2Б |
| C_{II} – приведенные эксплуатационные затраты, р./га | 94,31/90,39 | 91,25/93,99 | 99,47/88,76 | 98,18/93,63 |
| $П_C$ – прибыль от установки сдвоенных колес, р. | 0/11320,89 | 0/-7003,96 | 0/34001,76 | 0/15194,98 |
| C_{II} – приведенные эксплуатационные затраты на стерне, на весь объем работ 390 ч, р./га | 500,68/466,98 | 458,33/475,23 | 527,53/443,35 | 524,66/489,50 |
| $П_C$ – прибыль от установки сдвоенных колес на стерне, на весь объем работ 390 ч, р. | 46369,94 | -14972,39 | 135789,57 | 57855,69 |
| T_0 – срок окупаемости при применении сдваивания колес | 1,72 | -3,37 | 0,59 | 0,14 |

Таблица 13 – Техничко-экономические показатели на поле под посев

| Показатель | Марка трактора | | | |
|---|----------------|---------------|----------------|----------------|
| | К701/К701Б | К744Р/К744РБ | К744Р1/К744Р1Б | К744Р2/К744Р2Б |
| Цена трактора млн. р. | 2,164/2,24 | 2,29/2,73 | 2,65/2,73 | 2,86/2,94 |
| W_{II} – производительность на культивации 3-АКП-4, га/ч. | 4,73/4,85 | 4,23/4,08 | 5,05/5,23 | 5,49/5,93 |
| G_W – расход топлива, кг/га | 10,96/10,23 | 9,9/10,34 | 9,94/9,59 | 10,27/9,5 |
| C_{II} – приведенные эксплуатационные затраты, р./га | 419,36/413,45 | 431,59/455,45 | 424,70/414,95 | 431,49/403,24 |
| $П_C$ – прибыль от установки сдвоенных колес, р. | 0/3727,38 | 0/-12755,07 | 0/6631,61 | 0/21074,71 |
| W_{II} – производительность с 3-АКП-4 чизелевание, га/ч. | 3,5/3,59 | 3,14/3,02 | 3,74/3,88 | 4,07/5,40 |
| G_W – расход топлива, кг/га | 14,17/13,82 | 13,37/13,90 | 13,90/12,94 | 13,85/12,80 |
| C_{II} – приведенные эксплуатационные затраты, р./га | 565,97/558,17 | 580,49/613,24 | 573,06/559,33 | 582,38/574,17 |
| $П_C$ – прибыль от установки сдвоенных колес, р. | 0/3655,62 | 0/-12845,03 | 0/607,44 | 0/21874,40 |

Продолжение таблицы 13

| Показатель | Марка трактора | | | |
|--|----------------|---------------|----------------|----------------|
| | К701/К701Б | К744Р/К744РБ | К744Р1/К744Р1Б | К744Р2/К744Р2Б |
| W_{II} – производительность с ЛДГ-20, га/ч | 17,19/17,76 | 15,66/15,01 | 18,37/19,40 | 19,88/21,96 |
| G_W – расход топлива, кг/га | 2,88/2,79 | 2,68/2,79 | 2,70/2,52 | 2,84/2,57 |
| C_{II} – приведенные эксплуатационные затраты, р./га | 115,26/112,95 | 116,54/123,27 | 115,75/111,56 | 119,23/109,26 |
| $П_C$ – прибыль от установки сдвоенных колес, р. | 0/5309,53 | 0/-13139,33 | 0/9300,24 | 0/29064,74 |
| $\sum C_{II}$ – приведенные эксплуатационные затраты на поле под посев, на весь объем работ, р./га | 366,81/361,47 | 376,66/397,27 | 371,08/362,04 | 377,56/352,33 |
| $\sum П_C$ – прибыль от установки сдвоенных колес на поле под посев, на весь объем работ, р. | 12692,33 | -38036,03 | 22839,08 | 72013,49 |
| T_O – срок окупаемости при применении сдваивания колес | 6,3 | -2,06 | 3,5 | 1,15 |

Вывод по разделу.

Эффективная целесообразность повышения степени использования потенциальных возможностей тракторов «Кировец» на рабочих скоростях, в том числе ниже минимально допустимой по буксованию V_o , путем установки сдвоенных колес обоснована по результатам энергетического и экономического анализа. Срок окупаемости установки сдвоенных колес на трактора «Кировец» кроме К744Р (на который не рекомендуется установка сдвоенных колес) при полной загрузке в течение сезона на всех видах работ достигает 1-4 сезона.

Заключение

Наиболее полное решение проблемы ресурсосберегающего технического обеспечения операционных технологий достигается на основе системного подхода оптимизации эксплуатационных параметров и режимов работы МТ использование научно-обоснованных принципов операционных технологий механизированных работ позволило установить основные этапы многоуровневой системы адаптации тракторных агрегатов к условиям эксплуатации.

Проведенный анализ тягово-сцепных свойств колесного трактора 4К-4Б на разных почвенных фонах позволил: получить параметрические уравнения связи буксования с коэффициентом использования веса; установить максимальные и допустимые значения тягового КПД, определяющие ширину рациональных тяговых диапазонов; определить условия рационального агрегатирования тракторов с переменными массоэнергетическими параметрами в составе почвообрабатывающих и посевных агрегатов.

По результатам проведенных исследований определены зависимости изменения вертикальных нагрузок от силы тяги на крюке, найдены оптимальные значения тяговых усилий по нагрузкам на ведущих мостах с одинарными и сдвоенными колесами, $m_{Э max} / m_{Э min}$, при котором происходит выравнивание нормальных реакций по осям.

Обоснованы рекомендации по оптимальным значениям давления в шинах на разных почвенных фонах, при котором обеспечивается минимальное сопротивление перекатывания и кинематическое соответствие между окружными скоростями передних и задних колес в зоне номинальных тяговых усилий.

На основании потенциальных тяговых характеристик тракторов «Кировец» установлено, что при выполнении энергоемких тяговых операций на фонах высокой твердости (залежь) оптимальный режим достигается

снижением границы минимальных рабочих скоростей установкой сдвоенных колес или дефорсированием трактора. По установленным тяговым показателям и эквивалентам производительности и удельных энергозатрат обоснованы рациональные параметры и режимы работы трактора тягово-энергетической концепции в различных условиях агрегатирования.

Проведены патентные исследования существующих систем по улучшению сцепных свойств движителей и учтя их достоинства и недостатки обоснована собственная схема системы регулирования давления воздуха в шинах трактора.

Конструктивно разработана система регулирования давления воздуха в шинах, описан ее принцип работы и рассчитаны основные элементы.

Эффективная целесообразность повышения степени использования потенциальных возможностей тракторов «Кировец» на рабочих скоростях, в том числе ниже минимально допустимой по буксованию V_0 , путем установки сдвоенных колес обоснована по результатам энергетического и экономического анализа. Срок окупаемости установки сдвоенных колес на трактора «Кировец» кроме К744Р (на который не рекомендуется установка сдвоенных колес) при полной загрузке в течение сезона на всех видах работ достигает 1-4 сезона.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Агеев, Л.Е. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов [Текст] / Л.Е. Агеев, С.Х. Бахриев.-М.: Агропромиздат, 1991.-271 с.
2. Гореликов, В. Е., Ткешелашвили, Н. Н. Распределение вертикальныхнагрузок и крутящего момента двигателя по ведущим мостам трактораК-701 при работе с почвообрабатывающими орудиями [Текст]/ В. Е. Гореликов, Н. Н. Ткешелашвили -М.: Научные труды ЛСХИ, т. 420. Л. 1981,- 260 с
3. Горина Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы "Безопасность и экологичность технического объекта". Учеб.-метод. пособие / Л. Н. Горина, М. И. Фесина ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Управление промышленной и экологической безопасностью" . - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2018. - 41 с.
4. ГОСТ 18509-80. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний [Текст]. М.: Изд-во стандартов, 1985.-58с.
5. ГОСТ 24055-88 (ст. СЭВ 56287-86). Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения [Текст].-М.: Издательство стандартов, 1988.-48с.
6. ГОСТ 7057-81. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний [Текст]. М.: Издательство стандартов, 1985.-24с.
7. Демина Н.Ф. Экономическая оценка инженерных решений в дипломных проектах: учеб пособие / Н.Ф. Демина. – Красноярск.: КГАУ, 2005. – 215 с.
8. Демина, Н.Ф. Рабочая тетрадь и методические указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в сельское хозяйст-во / Н.Ф. Демина, Т.Н. Ткачук. – Красноярск.: КГАУ, 1990. 74 с.
9. Зангиев, А.А. Комплектование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов. – М.: Изд-во МИИСП, 1991.

10. Зангиев, А.А. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка [Текст]/А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороходов. – М.: Колос, 1996. – 320 с.
11. Иофинов, С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка [Текст]/С.А. Иофинов, Г.П. Лышко. – М.: Колос, 1984. – 351 с.
12. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. М.: Наука, 1984. 833 с.
13. Ксенович, И.П. Технологические основы и техническая концепция трактора второго поколения / И.П. Ксенович, Г.М. Кутьков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. №12. – С. 31-33.
14. Кутьков, Г.М. Анализ источников генерации колебаний нагрузки на двигателе сельскохозяйственного трактора [Текст] / Г.М. Кутьков, В.С. Пучков, А.И. Хомин // Тракторы и с. х. машины. -1975. № 7. С. 9 -10.
15. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства [Текст]/ Г.М. Кутьков, М.: Колос, 2004 – 504 с.
16. Кутьков, Г.М. Удельная конструкционная масса сельскохозяйственного трактора как показатель его технического уровня [Текст] / Г.М. Кутьков, А.П. Порфенов // Тракторы и с. х. машины. 1987. С. 12 14.
17. Кычев, В.Н. Взаимосвязь колебания тягового усилия и момента на двигателя трактора К-701 [Текст] / В.Н. Кычев [и др.] // Резервы эксплуатационных качеств сельскохозяйственных тракторов: сб. науч. ЧИМЭСХ. Челябинск, 1986. С. 49 53.
18. Кычев, В.Н. Пути повышения использования мощности двигателе сельскохозяйственного трактора [Текст] / В.Н. Кычев / ЧИМЭСХ Челябинск, 1987.-74 с.
19. Левицкий, В.С. Машиностроительное черчение / В.С. Левицкий. М.: Высш. шк., 1989. 352 с.
20. Либцис, С.Е. Потенциальные возможности использования мощности энергонасыщенных колесных тракторов / С.Е. Либцис // Тракторы

и сельскохозяйственные машины. – 1986. №9. – С. 8-16.

21. Лихачев, В.С. Испытания тракторов [Текст] / В.С. Лихачев. – М.:/ Машиностроение, 1974. 288 с

22. Маевская Е. Б. Экономика организации : учебник / Е. Б. Маевская. - Москва : ИНФРА-М , 2017. - 351 с.

23. Самсонов, В.А. Оценка эффективности и сравнение тракторов при проектировании и модернизации / В.А. Самсонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. №3. – С. 11-16.

24. Селиванов Н.И. Рациональное использование тракторов в зимних условиях / Н.И. Селиванов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. 399 с.

25. Селиванов Н.И. Ресурсосберегающее агрегатирование энергонасыщенных тракторов в зимних условиях [Текст]/Н.И. Селиванов //Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. /Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2003. С. 44-47.

26. Селиванов, Н.И. Обоснование рациональных параметров регуляторной характеристики тракторного дизеля для зимних условий [Текст] / Н.И. Селиванов, А.В. Кузнецов // Вестн. КрасГАУ / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2003. – Вып. 2. С. 24 29.

27. Селиванов, Н.И. Основы теории, расчет и испытание автотракторных двигателей: учеб. пособие [Текст] / Н.И. Селиванов, С.А. Зыков / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2002. – 167 с.

28. Селиванов, Н.И. Перспективы российского тракторостроения [Текст] / Н.И. Селиванов, Н.В. Кузьмин // Аграрная наука на рубеже веков: тез. Всерос. науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО «Краснояр. гос. аграр. ун-т». – Красноярск, 2005. С. 170 171.

29. Селиванов, Н.И. Применение статистических методов для исследования тягово-сцепных свойств гусеничного трактора на снежном покрове [Текст] / Н.И. Селиванов, В.А. Лапко, А.В. Кузнецов // Ресурсосберегающие технологии механизации сельского хозяйства: прил. к

«Вестн. КрасГАУ»: сб. науч. ст. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2003. С. 60-64.

30. Селиванов, Н.И. Состояние и перспективы тракторосооруженности агропромышленного комплекса [Текст] / Н.И. Селиванов // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО «Краснояр. гос. аграр. ун-т». – Красноярск, 2005. С. 149-150.

31. Селиванов, Н.И. Тенденции развития и эффективность использования гусеничных тракторов [Текст] / Н.И. Селиванов, А.В. Кузнецов, Н.В. Кузьмин // Транспорт: сб. науч. ст. / Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. – Красноярск, 2005. Вып. 39 – С. 213-217.

32. Селиванов, Н.И. Технический уровень и эффективность использования сельскохозяйственных тракторов общего назначения [Текст] / Н.И. Селиванов // Вестн. КрасГАУ / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2004. С. 149-154.

33. Селиванов, Н.И. Тракторы и автомобили: Курсовое и дипломное проектирование: учеб. пособие [Текст] / Н.И. Селиванов / ФГОУ ВПО «Краснояр. гос. аграр. ун-т». – Красноярск, 2005. – 156 с.

34. Селиванов, Н.И., Филимонов К.В. Математическая модель работы тракторного дизеля при колебаниях нагрузки [Текст] // Вестн. КрасГАУ / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2000. – Ч.2 С. 25-28.

35. Сидоров, В.Н. Снижение энергозатрат МТА на основе эффективного использования установленной мощности двигателей энергонасыщенных тракторов [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Сидоров В.Н. СПб. -Пушкин, 2000.-41 с.

36. Солонин, И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения [Текст] /И.С. Солонин. –М.: Машиностроение, 1972. 180 с.

37. Тракторы «Кировец», К-701, К-701. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Текст]. М.: ТО «Трактороэкспорт», 1980. 86 с

38. Тракторы «Кировец», К-744Р,Р1,Р2 Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Текст]. М.: ТО «Петербургский тракторный

завод», 2004 100 с.

39. Чумаков, Л. Л. Раздел выпускной квалификационной работы «Экономическая эффективность проекта». Уч.-методическое пособие / Л. Л. Чумаков. - Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. – 37 с.

40. Gethoffen H. Einsatz von Mikroprozessoren in der Nachrichtentechnik. Mikroprozessoren und ihre Anwendungen. / H. Gethoffen // Hrsg. von W. Hiibert und R. Piloty. Munchen, Wien, R. Oldenbourg Verlag, 1977.

41. Konig, R. Schmiertechnik / R. Konig. – Springer, 1972. – p.164.

42. Mikell, P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems / P. Mikell. - John Wiley & Sons, 2010. - p. 1024.

43. Lange F. H. Signale und Systeme / F. H. Lange. - Bd. 1,2. - Berlin: VEB Verlag Technik, 1975.

44. Pacejka H.B. Some recent investigations into dynamics and frictional behavior of pneumatic tires / H.B. Pacejka// Phys. Tire tract: Theory and Exp. -New - York - London, 1974.

45. Rabiner R. Theory and Application of Digital Signal Processing / R. Rabiner, B. Gold. -New York, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1975.

Приложение А
Спецификации

| Инд. № подл. | Изм. Лист | № докум. | Подп. | Дата | Обозначение | Наименование | Кол. | Примечание | Перв. примен. | | | |
|--------------|-----------|------------|-------|------|--|--|------|------------------|---------------|--------|------|---|
| | | | | | | | | | Формат | Зона | Поз. | |
| | | | | | | <i>Документация</i> | | | | | | |
| | A4 | | | | 21.ДП.ПЭА.144.61.00.000.ПЗ | Пояснительная записка | 1 | | | | | |
| | A2 | | | | 21.ДП.ПЭА.144.61.00.000.СБ | Сборочный чертёж | 1 | | | | | |
| | | | | | | <i>Детали</i> | | | | | | |
| | | | | | 1 21.ДП.ПЭА.144.61.00.001 | Корпус клапана | 1 | | | | | |
| | | | | | 2 21.ДП.ПЭА.144.61.00.002 | Крышка | 1 | | | | | |
| | | | | | 3 21.ДП.ПЭА.144.61.00.003 | Шток | 1 | | | | | |
| | | | | | 4 21.ДП.ПЭА.144.61.00.004 | Направляющая штока | 1 | | | | | |
| | | | | | 5 21.ДП.ПЭА.144.61.00.005 | Мембрана | 1 | | | | | |
| | | | | | 6 21.ДП.ПЭА.144.61.00.006 | Хомут | 1 | | | | | |
| | | | | | 7 21.ДП.ПЭА.144.61.00.007 | Пружина | 1 | | | | | |
| | | | | | 8 21.ДП.ПЭА.144.61.00.008 | Прокладка уплотнительная | 1 | | | | | |
| | | | | | 9 21.ДП.ПЭА.144.61.00.009 | Прокладка уплотнительная | 1 | | | | | |
| | | | | | 10 21.ДП.ПЭА.144.61.00.010 | Шайба | 1 | | | | | |
| | | | | | | <i>Стандартные изделия</i> | | | | | | |
| | | | | | 11 | Винт А.М6-6g x 10.14H ГОСТ 17475-80 | 2 | | | | | |
| | | | | | 12 | Гайка М10 x 1- 6H.06.40X ГОСТ 5915-70 | 1 | | | | | |
| | | | | | 13 | Шайба А. 10.02.СтЭкп ГОСТ 6958-78 | 1 | | | | | |
| | | | | | 21.ДП.ПЭА.144.61.00.000 | | | | | | | |
| | Разраб | Глухов | | | Клапан быстрого выпуска воздуха | | | Лит | Лист | Листов | | |
| | Проб | Епишкин | | | | | | | | | | 1 |
| | Н.контр | Епишкин | | | ТГУ, ИМ, гр. АТс-1601Д | | | | | | | |
| | Утв | Бабровский | | | | | | | | | | |
| | | | | | <i>Копировал</i> | | | <i>Формат А4</i> | | | | |

Рисунок А.1 – Спецификация на клапан быстрого выпуска воздуха

Продолжение Приложения А

| Формат | Зача | Лист | Обозначение | Наименование | Кол. | Примечание | Перв. примен. | | | |
|------------------|----------|------------|----------------------------|--|----------|------------|---------------|---------------------------|------|--------|
| | | | | | | | Стр. | № | | |
| | | | | <i>Документация</i> | | | | | | |
| A2 | | | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.000.СБ | Сборочный чертёж | 1 | | | | | |
| | | | | <i>Детали</i> | | | | | | |
| | | 1 | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.001 | Корпус | 1 | | | | | |
| | | 2 | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.002 | Кольцо | 4 | | | | | |
| | | 3 | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.003 | Втулка | 2 | | | | | |
| | | 4 | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.004 | Кольцо | 1 | | | | | |
| | | 5 | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.005 | Направляющая золотника | 1 | | | | | |
| | | 6 | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.006 | Золотник | 1 | | | | | |
| | | 7 | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.007 | Пружина | 1 | | | | | |
| | | 8 | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.008 | Фиксатор | 1 | | | | | |
| | | | | <i>Стандартные изделия</i> | | | | | | |
| | | 9 | | Винт АМ8-6г x 10.14Н ГОСТ 1477-93 | 1 | | | | | |
| | | 10 | | Кольцо 45.65Г ГОСТ 2833-77 | 1 | | | | | |
| | | 11 | | Манжета 1.1-10x26-1 ГОСТ 8752-79 | 2 | | | | | |
| | | 12 | | Шайба стопорная 27.35 ГОСТ 13466-77 | 1 | | | | | |
| | | | 21.ДП.ПЭА.144.62.00.000 | | | | | | | |
| | | | Изм. | Лист | № докцм. | Подп. | Дата | | | |
| Инв. № подл. | Разраб. | Глухов | | | | | | Лит. | Лист | Листов |
| | Пров. | Епишкин | | | | | | | | 1 |
| | Н.контр. | Епишкин | | | | | | ТГУ, ИМ, гр. АТС-1601б | | |
| | Утв. | Бабровский | | | | | | Формат А4 | | |
| <i>Копировал</i> | | | | | | | | | | |

Рисунок А.2 – Спецификация на кран управления