

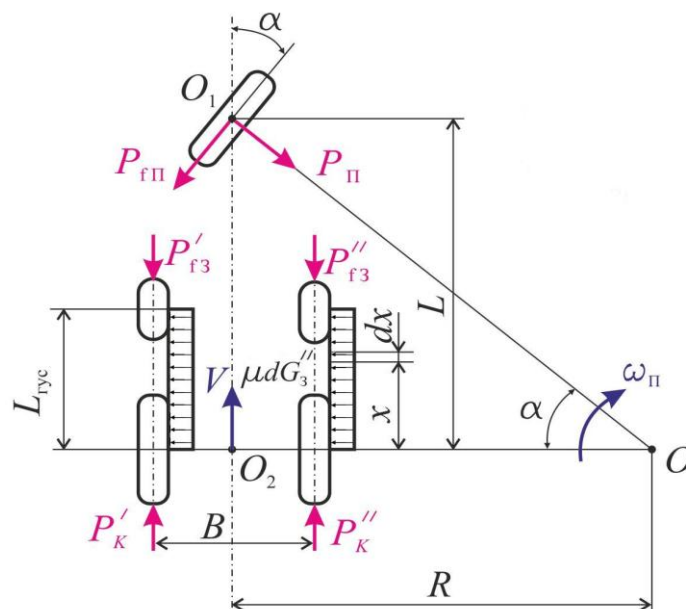


Министерство образования и науки
Российской Федерации
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»

А.С. ВОЙНАШ, С.А. ВОЙНАШ, Т.А. ЖАРИКОВА

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ТРАНСПОРТНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению
подготовки 23.05.01 «Наземные
транспортно-технологические средства»



Рубцовск 2014

Войнаш А.С., Войнаш С.А., Жарикова Т.А. Малогабаритные транспортно-технологические средства: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.05.01 “Наземные транспортно-технологические средства” / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014. – 107 с.

В пособии рассмотрены предложения по механизации транспортно-технологических операций растениеводства, животноводства и других сфер деятельности при малых формах хозяйствования: в крестьянских фермерских хозяйствах (КФХ) и личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) в лесостепных районах Алтайского края.

С учетом материалов описаний к патентам на изобретения и полезные модели, полученных авторами, изложены схемные решения по семейству машин на базе двухосного колесного автотрактора конструкции Рубцовского индустриального института, сформулированы теоретические основы эксплуатационных качеств машин, рассмотрены методы расчета производительности, определения нагрузок на узлы навесного оборудования, вопросы плавности хода, проходимости, устойчивости и поворотливости.

Пособие предназначено в качестве руководства при изучении студентами специальных дисциплин, таких как: теория автомобиля и трактора, конструирование и расчет автомобиля и трактора, защита интеллектуальной собственности и др. Может быть полезно инженерно-техническим и научным работникам подотрасли машиностроения, занятой разработкой и выпуском техники для сельского хозяйства.

Рисунков 76, таблиц 9.

Рассмотрено и одобрено на
заседании НМС РИИ.
Протокол №8 от 20.11.14.

Рецензент: доцент, к.т.н.

П.А. Люкшин

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Особенности решения проблемы механизации работ при малых формах хозяйствования в лесостепных районах	8
1.1. Малые формы хозяйствования и проблемы механизации работ	8
1.2. Краткое описание автотрактора и транспортно-технологических машин на его базе	13
1.3. Повышение приспособленности автотрактора к погрузочно-транспортно-технологическим работам	17
Вопросы и задания для самостоятельной работы	20
2. Проблема повышения проходимости автотрактора	21
2.1. Компонентное решение автотрактора	21
2.2. Проблема проходимости автотрактора по снегу	21
2.3. Анализ конструктивных решений по полугусеничному ходу для колесных машин	24
2.4. Методика выбора и расчет параметров полугусеничного хода	28
2.5. Краткое описание предлагаемой конструкции полугусеничного хода автотрактора	29
2.6. Функциональные и прочностные расчеты автотрактора с полугусеничным ходом	32
2.6.1. Оценка маневренности автотрактора	32
2.6.2. Прочностной расчет основных силовых элементов полугусеничного хода	35
2.6.2.1. Расчет грунтозацепа	35
2.6.2.2. Расчет крепления грунтозацепа	37
2.7. Вариант конструкции автотрактора с полугусеничным ходом со сниженным сопротивлением передвижению	37
Вопросы и задания для самостоятельной работы	39
3. Проблема транспортировки грузов с самопогрузкой-разгрузкой	40
3.1. Самосвальный кузов аппаратного типа	40
3.2. Механизм погрузки-разгрузки с навесной стрелой-фермой	42
3.3. Механизм для контейнерной погрузки-разгрузки	52
3.4. Механизм кассетной погрузки-разгрузки молочных фляг	53
3.5. Самосвальный кузов с механизмом порционной разгрузки	55
3.6. Малогабаритный трелевочный трактор	60
3.7. Сеноуборочный агрегат	68
3.8. Механизм погрузки затаренных насыпных и навалочных грузов	74
Вопросы и задания для самостоятельной работы	78

4. Привод сельскохозяйственных машин	79
4.1. Использование канатно-аппарельного привода	79
4.2. Пахотный агрегат на базе автотрактора	81
4.3. Поливальный агрегат на базе автотрактора	83
Вопросы и задания для самостоятельной работы	87
5. Некоторые вопросы расчетно-экспериментальной оценки предложенного комплекса устройств	88
5.1. Тягово-динамический расчет автотрактора	88
5.2. Моделирование производственного процесса погрузки	92
5.3. Моделирование нагрузочных режимов ходовой части	95
Вопросы и задания для самостоятельной работы	97
Заключение	98
Библиографический список	99

ВВЕДЕНИЕ

В РИИ АлтГТУ реализуется Основная образовательная программа высшего профессионального образования по направлению подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Автомобили и тракторы» (далее – ООП). При разработке ООП учтены требования регионального рынка труда, состояние и перспективы развития сферы специального машиностроения и технической эксплуатации транспортно-технологических машин в Российской Федерации в целом и в Алтайском крае в частности, в том числе:

- интеграция НИР студентов и образовательного процесса в рамках научно-исследовательских направлений кафедр, осуществляющих реализацию ООП;

- организация учебной и производственных практик в лабораториях кафедры «Наземные транспортные системы» и на отраслевых предприятиях.

Область профессиональной деятельности выпускника РИИ АлтГТУ, освоившего ООП по направлению подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Автомобили и тракторы», включает в себя области науки и техники, связанные с проектированием, эксплуатацией, ремонтом и сервисным обслуживанием автомобильного транспорта, тракторов, транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования различного назначения на предприятиях и организациях различных организационно-правовых форм собственности.

Специалист по направлению подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Автомобили и тракторы» готовится к следующим видам профессиональной деятельности: научно-исследовательская; проектно-конструкторская; производственно-технологическая; организационно-управленческая. В РИИ АлтГТУ, базируясь на потребностях региона, основным видом профессиональной деятельности, к которым в основном готовится специалист, является проектно-конструкторская, но обучающиеся имеют возможность самостоятельного выбора других видов профессиональной деятельности. ООП предусматривает подготовку специалистов по направлению подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Автомобили и тракторы» и готовит их к решению ряда задач в соответствии с проектно-конструкторским видом профессиональной деятельности:

- определение способов достижения целей проекта, выявление приоритетов решения задач при производстве, модернизации и ремонте наземных транспортно-технологических средств, их технологического оборудования и комплексов на их базе;

- разработка вариантов решения проблем производства, модернизации и ремонта наземных транспортно-технологических средств, анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности и неопределенности;

- использование прикладных программ расчета узлов, агрегатов и систем транспортно-технологических средств и их технологического оборудования;
- разработка конструкторско-технической документации для производства новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических средств и их технологического оборудования с использованием информационных технологий;
- разработка технических условий, стандартов и технических описаний наземных транспортно-технологических средств и их технологического оборудования;
- сравнение по критериям оценки проектируемых узлов и агрегатов с учетом требований надежности, технологичности, безопасности, охраны окружающей среды и конкурентоспособности.

Результаты освоения ООП определяются приобретаемыми выпускником общекультурными и профессиональными компетенциями, т.е. его способностью применять знания, умения и личные качества в соответствии с задачами профессиональной деятельности. Важнейшими профессиональными компетенциями выпускника по направлению подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Автомобили и тракторы», являются способности анализировать состояние и перспективы развития автомобилей и тракторов, их технологического оборудования и комплексов на их базе; проводить теоретические и экспериментальные научные исследования по поиску и проверке новых идей совершенствования автомобилей и тракторов; определять способы достижения целей проекта, выявлять приоритеты решения задач при производстве, модернизации и ремонте автомобилей и тракторов, их технологического оборудования и комплексов на их базе; разрабатывать конкретные варианты решения проблем производства, модернизации и ремонта автомобилей и тракторов, проводить анализ этих вариантов, осуществлять прогнозирование последствий, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности и неопределенности; использовать прикладные программы расчета узлов, агрегатов и систем автомобилей и тракторов.

В РИИ АлтГТУ, где в течение ряда лет ведутся плановые научные исследования малогабаритных транспортно-технологических средств, разработаны предложения по механизации транспортно-технологических операций растениеводства, животноводства и других сфер деятельности при малых формах хозяйствования: в крестьянских фермерских хозяйствах (КФХ) и личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) в лесостепных районах Алтайского края [94,95]. Впервые в практике отечественного сельскохозяйственного машиностроения теоретически проанализирован ряд актуальных проблем малогабаритной техники для КФХ и ЛПХ, что подтверждается многочисленными публикациями полученных результатов на страницах центральных научно-технических журналов и патентной защитой почти двух десятков схемных решений [28,31,36,37,39 и др.].

Итоги выполненной работы кратко могут быть представлены следующим образом:

- создание предпосылок к резкому повышению уровня механизации и ликвидации ручного труда в сельском хозяйстве;
- обеспечение экономии энергоресурсов;
- повышение экологичности техники и выполняемых технологических процессов;
- предложения по обновлению номенклатуры технических средств сельскохозяйственного назначения, выпускаемых отечественным производителем;
- обеспечение высокого технического уровня машин;
- защита приоритета России в разработке новых схемных решений по малогабаритной технике.

Из данного перечня видно, что существует несколько взаимоувязанных областей применения полученных результатов. Среди них отраслевая наука и инженерное образование в области сельскохозяйственного машиностроения. Очевидно, что элементы теории малогабаритных машин для КФХ и ЛПХ, сформулированные в рамках выполненной работы, позволяют конкретизировать подходы к проектированию целого класса машин – колесных автотракторов, а учебные пособия и монографии, разрабатываемые в РИИ АлтГТУ на материале проводимых авторских исследований, важны при подготовке инженерных кадров, способных реализовывать эти подходы.

В настоящем учебном пособии для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.05.01 "Наземные транспортно-технологические средства", приводятся схемные решения по семейству машин на базе двухосного колесного автотрактора конструкции РИИ АлтГТУ, защищенные патентами на изобретения и полезные модели, сформулированы теоретические основы эксплуатационных качеств машин, рассмотрены методы расчета производительности, определения нагрузок на узлы навесного оборудования, вопросы плавности хода, проходимости, устойчивости и поворотливости. Пособие может быть использовано в качестве руководства при изучении студентами специальных дисциплин: теории автомобиля и трактора, конструированию и расчету автомобиля и трактора и др.

1. ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЗАЦИИ РАБОТ ПРИ МАЛЫХ ФОРМАХ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ В ЛЕСОСТЕПНЫХ РАЙОНАХ

1.1. Малые формы хозяйствования и проблемы механизации работ

Сельское хозяйство современной России характеризуется многоукладностью. Возникли, существуют и развиваются малые формы хозяйствования, представленные крестьянскими (фермерскими) хозяйствами (КФХ) и личными подсобными хозяйствами (ЛПХ) населения. В России сегодня насчитывается 250 тысяч КФХ и 18 миллионов ЛПХ. В структуре производства сельскохозяйственной продукции доля личных подсобных хозяйств (ЛПХ) составляет 55...56%, доля крестьянских (фермерских) хозяйств (КФХ) – 3,7...4,5%. Ими производится большая часть картофеля (соответственно 92,5...93% и 1,3...1,6%) и овощей (80...81,5% и 2,6...3,3%) [59,91]. Средний размер земельных угодий ЛПХ составляет 0,44 га, КФХ – 67...69 га. С учетом применяемого севооборота размеры участков фермеров под картофель и овощи составляют всего 5...8 га.

Производственные процессы при малых формах хозяйствования характеризуются рядом особенностей по сравнению с крупными сельскохозяйственными предприятиями:

- низкая годовая загруженность специальных технических средств;
- ограниченные трудовые и энергетические ресурсы и др.

Многие машины, известные в практике работы крупных сельскохозяйственных предприятий, достаточно эффективны при больших объемах работ, выполняемых на десятках и сотнях гектарах. К ним относятся широкозахватные плуги и сеялки, картофеле- и капустоуборочные комбайны и др. Для производственных условий КФХ и ЛПХ такие машины, как правило, переразмерены, их возможности в ряде случаев не могут быть реализованы из-за отсутствия необходимых площадей, приводной техники (тракторов), подготовленных механизаторских кадров и т.п.

Хозяйства малых форм в силу своей экономической слабости остро нуждаются в малогабаритной технике, производительной и относительно недорогой, не требующей при своем функционировании значительных затрат энергоресурсов. Целесообразно использовать нетрадиционную многофункциональную технику, способную выполнять транспортные и тяговые работы.

Производственные процессы в КФХ и ЛПХ сопровождаются транспортировкой различных грузов: сельскохозяйственной продукции, удобрений, топлива, строительных материалов и т.п. В лесостепных районах специфическим видом транспортируемого груза является ствольная древесина. По имеющимся данным, ежегодный объем транспортируемых грузов может достигать 30...50 т на 1 га земельных угодий. Транспортные работы при малых формах хозяйствования могут быть выполнены с использованием как собственной, так и арендованной техники. Анализ показал, что, например, в

КФХ большую часть транспортных работ (до 60...70% объема) целесообразно выполнять на базе кратковременно арендованной большегрузной автотракторной техники: самосвалов типа КамАЗ или тракторов К-700 с прицепами. Это позволяет обеспечить транспортировку грузов в сжатые сроки, экономя трудовые ресурсы хозяйства. Остальная часть транспортной работы, что эквивалентно для условий среднего КФХ перемещению примерно 1 т грузов ежедневно, требует применения таких транспортных средств, техническая характеристика которых формируется значением номинальной рейсовой нагрузки 900...1200 кг. Хотя потребность ЛПХ в транспортных работах значительно ниже, чем в КФХ, решение проблем здесь достигается аналогично.

Технический уровень механизации транспортных процессов в КФХ и ЛПХ во многом определяется временем и затратами ручного труда погрузочно-разгрузочных операций. Учитывая тенденции развития отечественных и зарубежных малотоннажных транспортных средств, в ближайшей перспективе следует ожидать появления набора унифицированных средств погрузки-разгрузки (УСПР). Преимуществами таких средств, по сравнению с другими вариантами погрузки-разгрузки (за счет применения специализированных машин), являются: 1) малые объем и масса устройства; 2) низкое потребление энергии; 3) снижение времени на переналадку под конкретный вид груза.

В нашей стране фактически не изготавливаются серийно малотоннажные грузовики сельскохозяйственного назначения грузоподъемностью 1 т. В последнее время созданием таких грузовиков занималась в НАМИ и МГАУ им. В.П. Горячкина группа исследователей под руководством профессора, д.т.н. Дзюценидзе Т.Д. Выполнен комплекс теоретических исследований для обоснования параметров малотоннажных транспортных средств сельскохозяйственного назначения с широкими функциональными возможностями, изготовлены опытные образцы, проведены экспериментальные исследования, см. [1,46,47,49-61,64-66,69-71,73-75].

Еще в 90-х годах XX века аналогичную проблему начал изучать в РИИ АлтГТУ творческий коллектив под руководством профессора, д.т.н. Ситникова В.Р., см. [3,7,84-90]. По ряду позиций достижения данного творческого коллектива остаются актуальными: общая компоновка малотоннажного транспортного средства, виды агрегатирования, обоснование схем трансмиссии, предложения по выбору параметров системы поддрессоривания и др. К проведению работ в РИИ АлтГТУ широко привлекалась студенческая молодежь, многие технические решения по транспортному средству в целом и по отдельным его системам и узлам легли в основу курсовых и дипломных проектов, получили патентную защиту как изобретения и полезные модели. В ходе исследований, проведенных в РИИ АлтГТУ, разработан малогабаритный двухосный автотрактор (энергомодуль) ЭМ-0,6, объединивший в себе свойства автомобиля и трактора и ставший базой семейства блочно-модульных машин различного технологического назначения.

Уже более ста лет грузовой автомобиль и колесный трактор сосуществуют, занимая каждый свою "нишу". Разное назначение, разные условия

эксплуатации обусловили специфические требования к автомобилям и тракторам и привели к тому, что выработались свои подходы к проектированию, свои теории, свои расчетные методики, свои конструкции.

Грузовой автомобиль – это транспортная машина с высокой средней скоростью движения. Отличительной чертой компоновки грузового автомобиля является переднее расположение кабины. В качестве силовой установки могут использоваться высокооборотистые дизельные и карбюраторные двигатели, причем в последние годы соотношение в пользу дизельного двигателя (их доля достигла примерно 60% и продолжает увеличиваться). Трансмиссия грузовых автомобилей обеспечивает скорости движения с грузом до 70...100 км/ч и характеризуется постепенным переходом к бесступенчатым типам. Ходовая система, как правило, многоосная, с постепенным увеличением числа ведущих осей, что позволяет реализовывать одну из главных тенденций совершенствования грузовых автомобилей: тенденцию повышения тяговой силы и перехода к использованию грузового автомобиля с прицепом. Параметры колес изменяются в направлении роста диаметров, ширины, растет допускаемая нагрузка. Подвеска колес бурно развивается, создавая все более комфортные условия по плавности хода. Несущая система в виде лонжеронных рам успешно конкурирует с рамами хребтового типа. Значительное внимание конструкторы уделяют рабочему органу грузового автомобиля – грузовой платформе (кузову): растет допускаемая нагрузка, приспособленность к перевозке разнообразных грузов, снижаются затраты времени на погрузку и разгрузку (применение самосвальных платформ, различных устройств погрузки-разгрузки). Все это сопровождается повышением степени гидрофикации конструкции: показатели отбора мощности двигателя гидравлическим (пневматическим) путем неуклонно возрастают.

Колесный трактор – это, прежде всего, тяговая машина с высоким тяговым усилием, достигающим до значений, почти равных весу трактора. Компоновка колесного трактора достаточно пластична: есть и переднее, и центральное, и заднее расположение кабины. Преобладающая доля компоновки с задним расположением кабины понемногу уменьшается за счет появления все большего числа конструкций с центральным расположением кабины, что в немалой степени обусловлено возрастанием доли технологических операций, выполняемых трактором при движении задним ходом. В качестве силовой установки колесного трактора используются исключительно дизельные двигатели, причем, как правило, сравнительно тихоходные. Трансмиссия колесных тракторов обеспечивает требуемые тяговые усилия в рабочем диапазоне скоростей и характеризуется постепенным переходом к бесступенчатым типам. Ходовая система развивается в направлении многоосности с применением всех осей в качестве ведущих. Параметры колес изменяются в направлении роста диаметров, ширины, растет допускаемая нагрузка, увеличивается доля конструкций, имеющих все колеса одинакового диаметра. Подвеска колес совершенствуется с целью повышения надежности и создания удовлетворительных условий по плавности хода, что позволяет значительно повысить среднюю скорость движения колесного трактора и шире

использовать его на транспорте, в том числе с большегрузными прицепами. Несущая система в виде лонжеронной рамы оснащается днищем, закрывающим снизу внутриостовное пространство, и постепенно трансформируется в достаточно жесткий корпус, позволяющий колесному трактору успешно работать в условиях бездорожья при наличии высоких сосредоточенных препятствий (камней, пней и т.п.). Рабочие органы колесного трактора становятся все более разнообразными: передняя и задняя гидронавески, прицепная скоба, ВОМы различного расположения и т.д. Степень гидрофикации конструкции уже характеризуется 100%-ным отбором мощности двигателя гидравлическим путем, неуклонно возрастает многоконтурность такого отбора.

Анализ показывает, что в ряде случаев тенденции развития грузового автомобиля и колесного трактора пересекаются и возможно существование такого тягово-транспортного средства, которое сочетает в себе основные характерные особенности как автомобиля, так и трактора. Условно можно назвать такое тягово-транспортное средство автотрактором.

Классическим примером автотрактора может служить "УНИМОГ" фирмы Mercedes-Benz (ФРГ), представляющий собой сочетание колесного трактора повышенной проходимости для тяжелых дорожных и внедорожных условий с достаточно скоростным грузовым автомобилем, являющимся носителем быстросъемного технологического оборудования (сельскохозяйственного, строительно-дорожного и коммунального, лесохозяйственного и другого назначения), см. [82,83,99]. Появившиеся еще в 50-е годы "УНИМОГи" достаточно быстро завоевали популярность во всем мире. Для нашей страны в 50-80 годы XX века, в силу сложившихся тогда общественно-политических условий, "УНИМОГи" могли представлять интерес лишь с точки зрения реализованных конструктивных решений. Крупные хозяйства советского периода оснащались высокопроизводительной, достаточно специализированной техникой, на многоцелевые тягово-транспортные средства просто не было заказчика.

Конец 80 – начало 90-х годов обострили внимание к автотракторам, причем имеющим малый уровень мощности: развитие фермерского движения потребовало создания таких машин для крестьянских хозяйств, которые были бы неэнергоемки. В ряде организаций появляются проекты автотракторов, называемых по-разному: МЭС, ВЭС, энергомодули и т.д.

В РИИ АлтГТУ была сформулирована концепция системы малогабаритных блочно-модульных машин, см. [84,90], основой которой является автотрактор – двухосный колесный энергомодуль ЭМ-0,6, и разработаны опытные образцы ряда машин, среди которых: малогабаритный колесный сельскохозяйственный трактор, малотоннажный грузовик, малогабаритный колесный лесохозяйственный трактор и др. Накопленный опыт проектирования малогабаритных блочно-модульных машин позволяет сформулировать ряд концептуальных положений по конструкции автотрактора с малым (до 30 кВт) уровнем мощности двигателя:

1. Компонировка автотрактора – с передним расположением кабины.

2. Силовая установка – дизельный двигатель с высоким коэффициентом приспособляемости (желательно иметь двигатель постоянной мощности).
3. Трансмиссия – двухдиапазонная, с широким набором передач в пониженном диапазоне. В перспективе предпочтителен бесступенчатый тип трансмиссии, в частности, гидрообъемная трансмиссия, как наиболее пластичная по компоновке и позволяющая решить ряд вопросов гидрофикации за счет использования комплексного объемного гидропривода.
4. Ходовая система – как правило, типа 4К2, с упрощенной подвеской (упругие элементы только на переднем мосту) одинаковых колес большого диаметра. В необходимых случаях на задние ведущие колеса устанавливаются дополнительные шины.
5. Колея В – изменяемая, за счет установки дополнительных колес.
6. База L – короткая, определяемая из соотношения: $L / B \leq 1,2$.
7. Рабочие органы – передняя и задняя навески, ВОМы.
8. Несущая система – усиленная лонжеронная рама.
9. Гидрофикация конструкции – 100%-ный гидроотбор мощности, применение привода 2...3 гидронасосов.

Главный классификационный параметр грузового автомобиля – грузоподъемность Q в кг, главный классификационный параметр колесного трактора – тяговое усилие $P_{кр}$ в кН. Для автотрактора в качестве основного классификационного параметра может быть использован индекс I , определяемый соотношением: $I = Q \cdot P_{кр}$. Для автотракторов, применяемых в ЛПХ и экономически слабых КФХ, допустимы значения $I = 4000 \dots 6000 \text{ кг} \cdot \text{кН}$.

Анализ показал, что КФХ и ЛПХ лесостепной зоны Алтайского края сталкиваются с необходимостью выполнения целого ряда транспортных работ, требующих применения разнообразных малогабаритных транспортно-технологических машин (ТТМ) на базе автотрактора. Так, для перевозки насыпных грузов (удобрений, незатаренного картофеля и т.п.) требуется малотоннажный грузовой автомобиль (МГА) с самосвальным кузовом, для транспортировки (трелевки) деревьев должен использоваться малогабаритный трелевочный трактор (МТТ), оснащенный погрузочным щитом и тяговой лебедкой. Перевозка наливных, затаренных и штучных грузов возможна при наличии соответствующих унифицированных средств погрузки-разгрузки (УСПР). Взаимное влияние параметров автотрактора и УСПР имеет сложный и часто неявный характер, что не позволяло сразу выявить адекватные зависимости, связывающие параметры УСПР с конструктивными параметрами и режимами использования автотрактора в различных комплектациях (МГА, МТТ и др.). В начальный период работы отсутствовали экспериментальные данные о влиянии параметров УСПР на длительность погрузки-разгрузки, не было математических моделей процессов погрузки-разгрузки, позволяющих определить влияние режимов функционирования и конструктивных параметров УСПР на производительность автотрактора в требуемых комплектациях (МГА, МТТ и др.). В результате проведенных инженерных работ и научных исследований часть названных проблем снята, но остается достаточно широкий спектр задач, ждущих своего решения.

1.2. Краткое описание автотрактора и транспортно-технологических машин на его базе

С развитием в агропромышленном секторе новых форм землепользования важной задачей стало обеспечение потребности в малогабаритной технике, предназначенной для механизации неэнергоёмких сельскохозяйственных операций, непромышленного строительства, разгрузочно-погрузочных, транспортных и других работ в арендных коллективах, кооперативах, КФХ и ЛПХ [4-6,48,62,72,76,77,92,96,97].

Типичными представителями малогабаритной техники в настоящее время являются малогабаритные тракторы (МТ) и малогабаритные шасси (МШ) с наборами соответствующих машин-орудий, а также МГА.

С помощью малогабаритных тракторов решается лишь часть вопросов использования малогабаритной техники. Так, агрегатирование МТ с грузовым прицепом не решает проблемы внутрихозяйственных малотоннажных перевозок из-за низких транспортных скоростей, недостаточной грузоподъемности и мобильности. На МТ (в отличие от МШ) отсутствуют свободные места – открытые площадки, предназначенные для установки агрегируемых машин-орудий.

В то же время известные универсальные МШ, например, Т-16МГ, решая ряд проблем по агрегатированию с почвообрабатывающими орудиями, не имеют заднего навесного устройства, а в случае оборудования их грузовой платформой, так же, как и МТ, являются неэффективными для внутрихозяйственных перевозок и тем более на дорогах с твердым покрытием.

В свою очередь, МГА в семействе тягово-транспортных машин не решает проблем тяговых МТ и МШ.

Потребности снижения издержек у потребителя наилучшим образом удовлетворяет техника, основанная на других принципах и функциональных схемах. В указанном комплексе тягово-транспортных машин для нужд различных областей народного хозяйства такой техникой сможет стать малогабаритный автотрактор, функционально триедино заменяющий МТ, МШ и МГА, рис. 1. Агрегируемый в зависимости от вида выполняемых работ с тем или иным технологическим блоком (модулем) автотрактор становится базой системы блочно-модульных машин.

РИИ АлтГТУ под руководством д.т.н. В.Р. Ситникова предложена система блочно-модульных машин на базе автотрактора тягового класса 0,6 (энергомодуля ЭМ-0,6), призванная обеспечить выполнение всех видов тягово-транспортных работ. Схема агрегатирования автотрактора ЭМ-0,6 с различными навесными машинами представлена на рис. 2.

Анализ показал, что КФХ и ЛПХ лесостепной зоны сталкиваются с необходимостью выполнения целого ряда транспортных работ, требующих применения разнообразных малогабаритных транспортных средств на базе автотрактора. Так, для перевозки насыпных и навалочных грузов (удобрений, грунта, овощей и т.п.) требуется МГА с самосвальным кузовом, для

транспортировки (трелевки) деревьев требуется МТТ, оснащенный погрузочным щитом и тяговой лебедкой.



Рис. 1. Общий вид автотрактора ЭМ-0,6

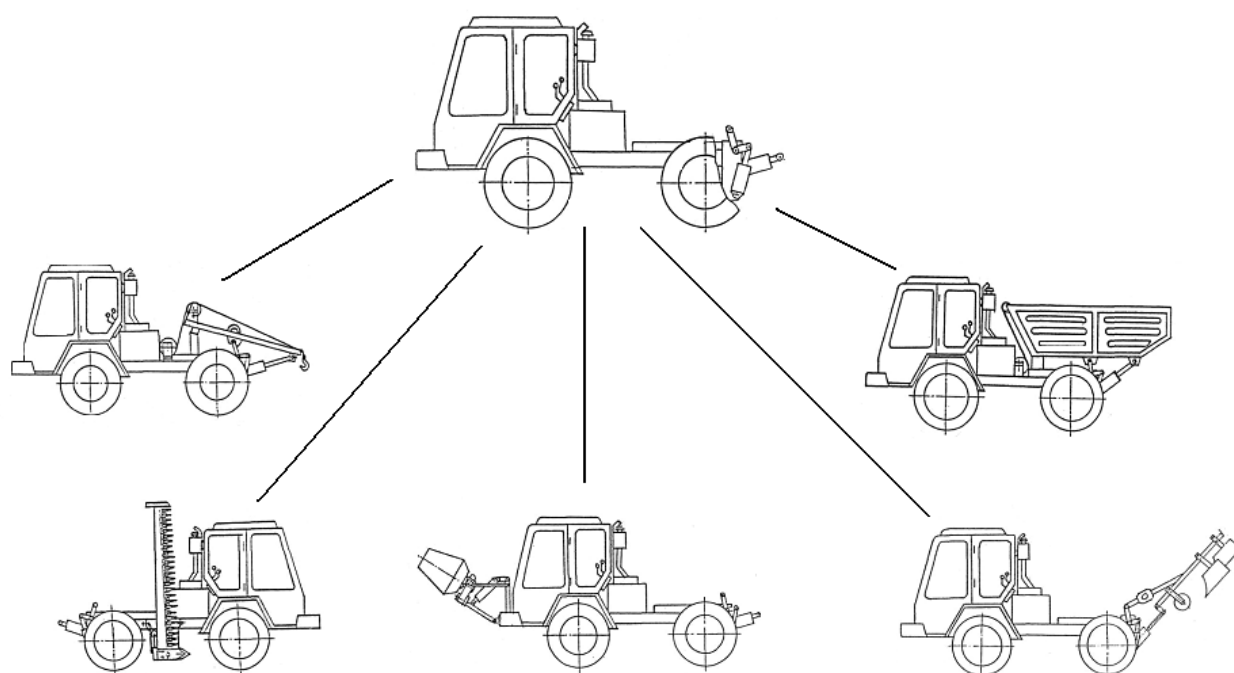


Рис. 2. Схема агрегатирования автотрактора ЭМ-0,6

В РИИ АлтГТУ силами студентов, аспирантов и преподавателей были изготовлены и функционально испытаны в производственных условиях опытные образцы МТТ и МГА, рис.3 и 4, краткая техническая характеристика которых имеет вид:

- номинальная мощность двигателя $N_e = 21$ кВт;
- скорости движения $v = 1,0 \dots 14,7$ м/с (3,6 ...52,9 км/ч);
- эксплуатационная масса МГА (МТТ) $m_s = 1945$ (2100) кг;
- грузоподъемность $Q = 10,5$ кН;
- колесная формула 4К2;
- колея $B_k = 1600$ мм;
- продольная база $L = 1850$ мм;
- наименьший радиус поворота $R = 2,65$ м;
- дорожный просвет 420 мм.

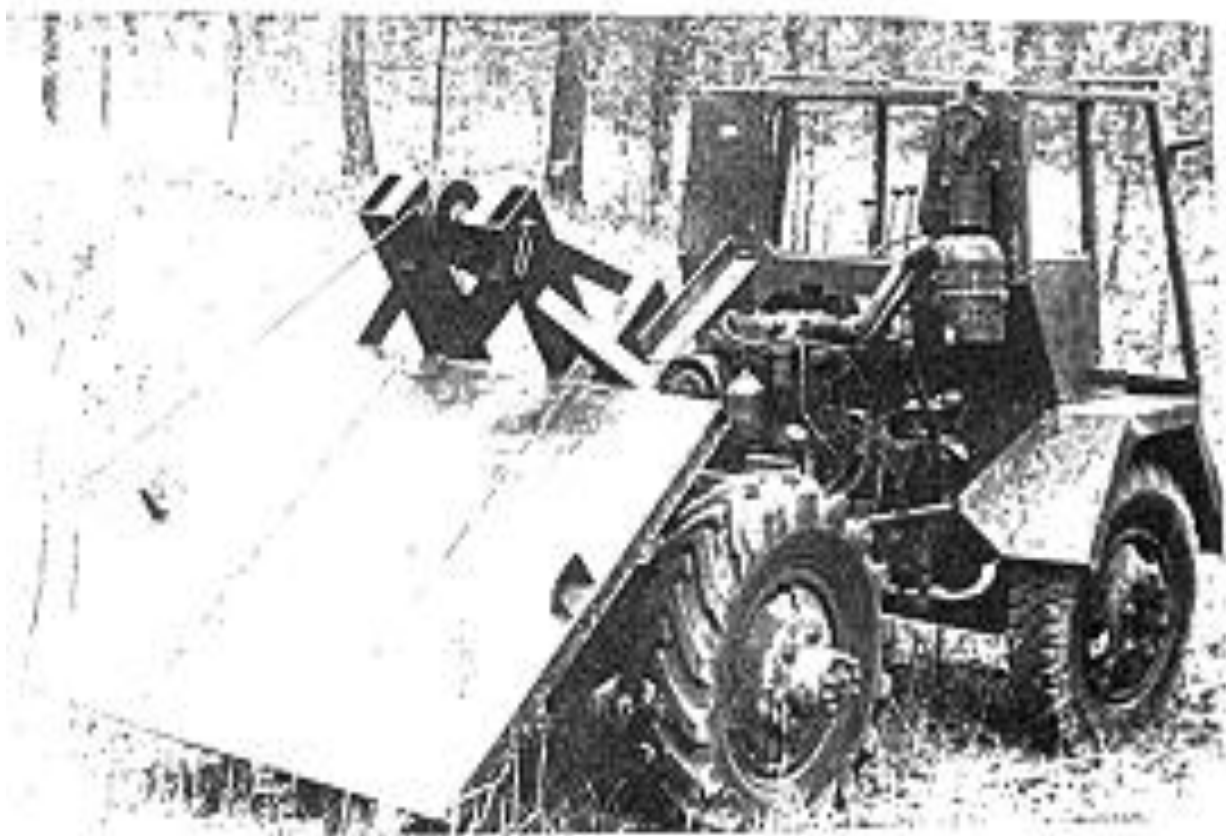


Рис. 3. Малогабаритный трелевочный трактор



Рис. 4. Малотоннажный грузовой автомобиль

1.3. Повышение приспособленности автотрактора к погрузочно-транспортно-технологическим работам

Испытания первых опытных образцов малогабаритных ТТМ на базе автотрактора ЭМ-0,6 выявили необходимость продолжения работ, прежде всего, в направлении повышения проходимости в тяжелых грунтовых условиях и обеспечения самопогрузки-разгрузки.

Во второй половине истекшего десятилетия XXI века в работу включились свежие научно-исследовательские силы, в том числе из наиболее подготовленных и творчески сориентированных студентов старших курсов РИИ АлтГТУ по специальности “Автомобиле- и тракторостроение” (Буткевич Е.О., Машкарин А.В., Никифорова А.Ю., Фрицлер А.Я., Чевардова Е.Н., Шаргу А.А. и др.), см. [27,44,45,94,95].

В 2008...2014 годах были проведены инженерные разработки, схематично представленные на рис. 5, позволившие на патентном уровне решить основные сформулированные выше проблемы. Далее подробно рассмотрены результаты этих разработок.

Предлагаемый комплекс устройств позволяет получить в соответствии с решаемыми производственными задачами в растениеводстве, животноводстве и других направлениях деятельности КФХ и ЛПХ в условиях лесостепной зоны Алтайского края необходимые транспортно-технологические комплектации. Так, грузовая платформа, оснащенная коником (рис. 5,е), обеспечивает погрузку на автотрактор стволов деревьев (хлыстов) при транспортировке древесины; механизм порционной разгрузки самосвального кузова (рис. 5,к) позволяет использовать автотрактор в качестве транспортного средства для порционного внесения органических удобрений на полях или для раздачи кормов животным в животноводческих помещениях; погрузочно-транспортные устройства для перевозки рулонного сена (рис. 5,з,п) и погрузочные устройства для штучных и затаренных грузов (рис. 5,д,ж,и,л,н) практически полностью исключают использование ручного труда на погрузочных операциях сельскохозяйственного производства; полугусеничный ход (рис. 5,б) со сниженным сопротивлением крутому повороту помогает повысить маневренность автотрактора, его проходимость и экономичность на малосвязных водонасыщенных грунтах, глубоком снегу и в других подобных сложных дорожных условиях.

В РИИ АлтГТУ проведено необходимое теоретическое обоснование предложенных схемных конструктивных решений [7-45,63,79-81,94,95]. С позиций системного подхода комплекс ТТМ является системой первого (высшего) уровня, базовый автотрактор ЭМ-0,6 и монтируемые на него средства погрузки-разгрузки (СПР) – системами второго уровня; трансмиссия, гидропривод, ходовой аппарат и прочее – системами третьего уровня, узлы – четвертого и т.д., вплоть до отдельных деталей, рис. 6.

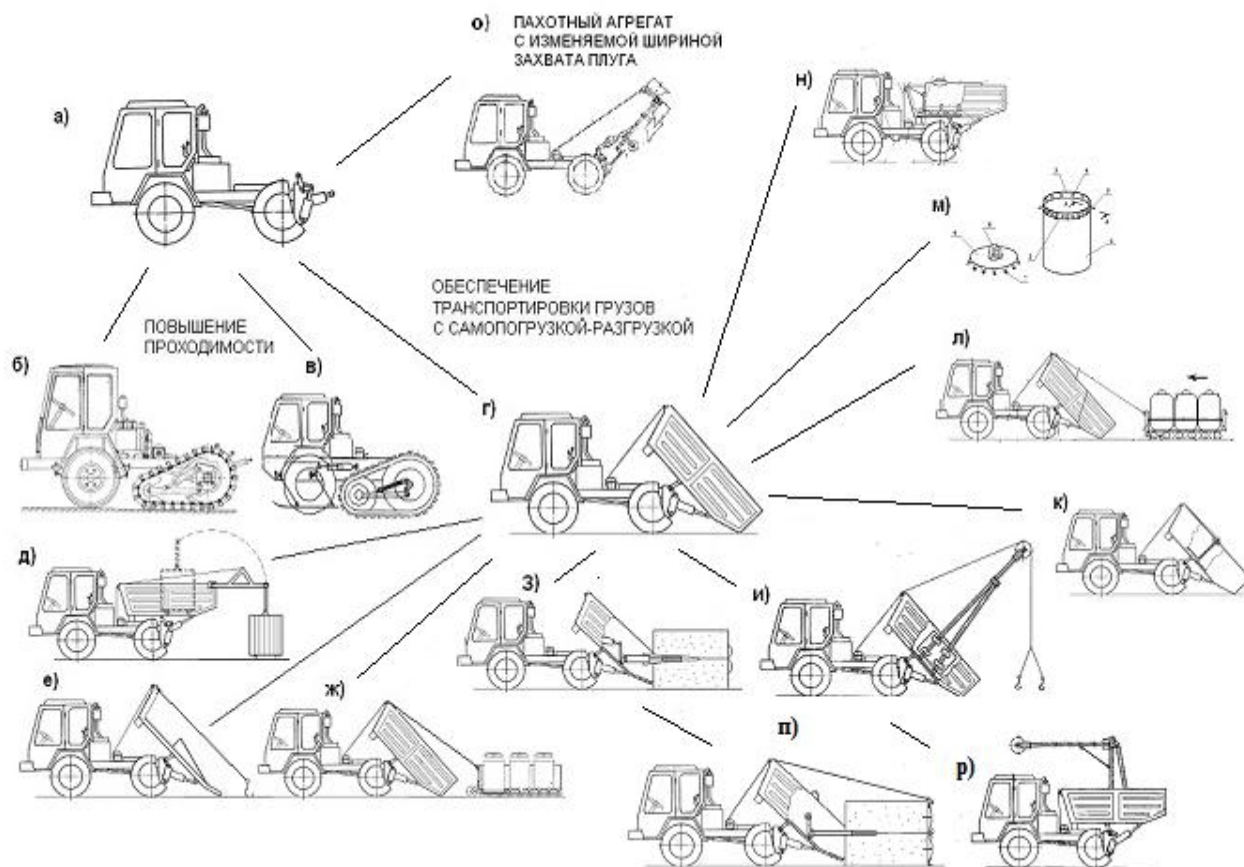


Рис. 5. Схема разработки на патентном уровне вопросов приспособленности конструкции к погрузочно-транспортно-технологическим работам:

а – базовое шасси-энергомодуль ЭМ-0,6; б – применение полугусеничного хода с подъемом отстающего борта при крутом повороте (патент РФ № 2441794); в – применение полугусеничного хода и переднего моста, оборудованного гидроуправляемой лыжей (патент РФ №84336); г – самосвальный кузов аппаратного типа (патент РФ №103332); д – механизм для контейнерной погрузки-разгрузки (патент РФ №111071); е – грузовая платформа малогабаритного трелевочного трактора, оснащенная коником (патент РФ №2484987); ж – механизм кассетной погрузки-разгрузки молочных фляг (патент РФ №111072); з – сеноуборочный агрегат (патент РФ №2486076); и – механизм погрузки-разгрузки с навесной стрелой ферменного типа (патент РФ №2449902); к – механизм порционной разгрузки кузова (патент РФ №2469883); л – механизм погрузки затаренных насыпных и навалочных грузов (патент РФ №134859); м – мешок (патент РФ №134156); н – технологический агрегат с цистерной для наливных грузов (патент РФ №2536613); о – пахотный агрегат (патент РФ №2484612); п – сеноуборочный агрегат (заявка на предполагаемое изобретение от 27.08.2013 г. №2013139848/11); р – механизм погрузки-разгрузки с навесной стрелой ферменного типа (патент РФ № 2537047)

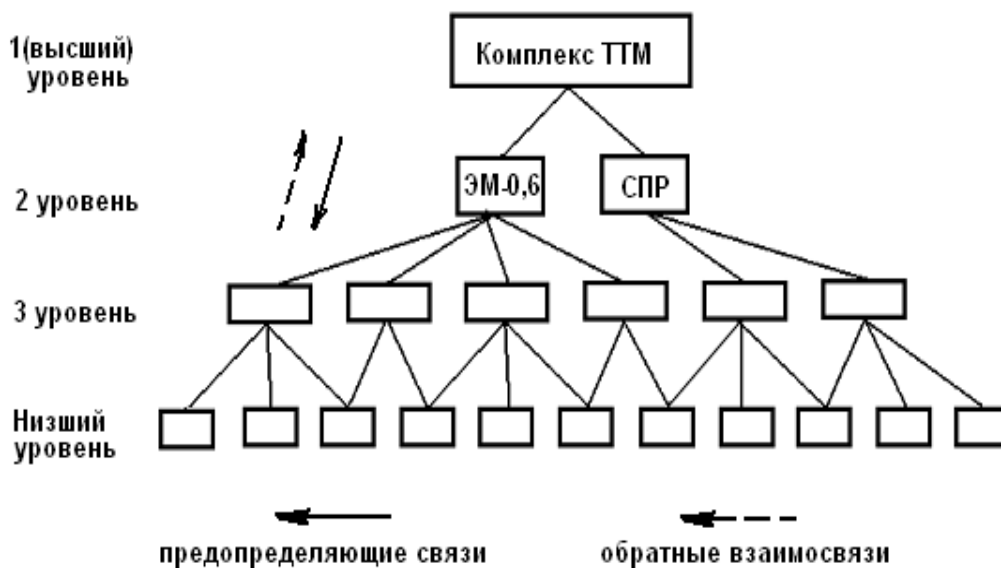


Рис. 6. Системный подход при разработке мобильной техники

При этом система более высокого уровня предопределяет основные параметры системы низшего уровня, а, в силу обратной взаимосвязи, качество высшей системы определяется составляющими ее подсистемами. Поэтому, анализируя технологию работы и конструкции комплекса машин, можно выявить требования к базовому автотрактору. Привлекая сведения об общих тенденциях развития растениеводства и животноводства при малых формах хозяйствования, сельскохозяйственного машиностроения, тракторостроения, автомобилестроения и смежных отраслей, можно сформировать прогноз на перспективу и на его основе разработать требования к соответствующим подсистемам.

Учет предопределяющих связей и обратных взаимосвязей можно проиллюстрировать на следующих примерах. Так, необходимость выполнения комплекса транспортных работ в зимнее время, в условиях снежного покрова большой высоты, потребовала от автотрактора повышенной проходимости, что может быть обеспечено, например, установкой на ведущие колеса обоих бортов легкоъемных полугусеничных ходов. Однако при крутых поворотах транспортного средства возможно заглохание двигателя автотрактора, так как сопротивление повороту при наличии гусениц значительно из-за нагребания грунта, а автотрактор оснащен двигателем сравнительно небольшой мощности (21 кВт). Возникшее техническое противоречие разрешается использованием схемного решения по патенту РФ №2441794 на изобретение, предусматривающего подъем натяжного колеса полугусеничного хода отстающего борта при крутом повороте. Проведенные предварительные теоретические расчеты показали, что при таком подъеме следует ожидать снижения затрат мощности двигателя не менее чем на 20%.

Стремление обеспечить саморазгрузку ТТМ привело к установке самосвального кузова, а требование простоты самопогрузки штучных и

затаренных грузов (например, сортиментов при заготовке стволовой древесины в ленточных борах Алтайского края) предопределило конструкцию самосвального кузова: он выполнен аппаратного типа (то есть с упором в грунт в крайнем положении) и без заднего борта. В свою очередь, особенности работы ТТМ с самосвальным кузовом аппаратного типа и оборудованием, закрепленным на нем (например, навесной стрелой ферменного типа по патенту РФ №2449902) потребовали соответствующей организации поста управления автотрактора: повышенной обзорности, применения поворотного сиденья и сдублированного управления на задней стенке кабины [22].

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Назовите известные Вам малые формы хозяйствования. Покажите графически их долю в производстве отдельных видов сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации.

2. Проанализируйте с привлечением статистических данных тенденции развития ЛПХ в нашей стране.

3. Поясните актуальность проблемы механизации работ при малых формах хозяйствования.

4. Что такое автотрактор? Каково его отличие от традиционных конструкций автомобиля и трактора?

5. Сформулируйте основные требования к конструкции автотрактора.

6. Определите удельную энергонасыщенность автотрактора в комплектации МТТ.

7. Определите коэффициент тары автотрактора в комплектации МГА.

8. Подберите и изучите описания к патентам на изобретения Российской Федерации, представленные на рис. 5.

9. Подберите и изучите описания к патентам на полезные модели Российской Федерации, представленные на рис. 5.

10. Поясните, за счет чего, на Ваш взгляд, на автотракторе получен дорожный просвет 420 мм.

11. Поясните на примерах реализацию системного подхода при проектировании конструкции автотрактора.

2. ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ АВТОТРАКТОРА

2.1. Компонувочное решение автотрактора

При проектировании автотрактора ЭМ-0,6 особое внимание уделялось его развесовке. Так, для тягового режима характерным является требование достаточной силы тяги на ведущих колесах при их минимальном буксовании, что достигается смещением центра тяжести автотрактора назад с обеспечением догрузки задней ведущей оси. Указанное смещение центра тяжести может быть получено за счет специальной компоновки силового блока (двигателя и трансмиссии) на шасси автотрактора между ведомой и ведущей осями. При этом должно быть соблюдено условие управляемости [68]: на направляющие колеса должно приходиться не менее 0,2 эксплуатационного веса автотрактора в агрегате с навесным орудием.

Для транспортного режима, учитывая расположение кузова с грузом, центр тяжести автотрактора должен быть смещен вперед так, чтобы нагрузка на ведущие колеса не превосходила значения, предельного по грузоподъемности шин.

Оптимальной будет такая развесовка автотрактора, которая обеспечивает удовлетворительное выполнение упомянутых требований для обоих режимов.

2.2. Проблема проходимости автотрактора по снегу

Сельскохозяйственный транспорт работает в тяжелых дорожных условиях. При технологических перевозках движение вне дорог составляет около 50% пробега. Для транспортно-технологических средств на базе автотрактора ЭМ-0,6, эксплуатирующихся в лесостепной зоне Алтайского края, значительный процент загрузки по времени работы приходится на зимний период. При вывозке навоза, транспортировке древесины и на других работах машины движутся по снежным дорогам, а зачастую и просто по снежной целине с достаточно большой высотой снежного покрова. Ранней весной и поздней осенью движение осуществляется по слабым, водонасыщенным грунтам. Очевидно, что при проектировании малогабаритных транспортно-технологических средств особое внимание должно быть уделено вопросам обеспечения их проходимости.

Условие устойчивого движения (без буксования ведущих колес) транспортно-технологического средства, например МТТ, выражается неравенством

$$\lambda \cdot \varphi \geq f_1 + \frac{(1-k) \cdot Q}{G_э + k \cdot Q} \cdot f_2, \quad (1)$$

где φ – коэффициент сцепления; λ – коэффициент нагрузки ведущих колес; f_1 – коэффициент сопротивления перекатыванию; f_2 – коэффициент сопротивления волочению деревьев; Q – сила тяжести трелюемой пачки;

G_3 – сила тяжести транспортного средства; k – коэффициент, характеризующий распределение веса трельюемой пачки между машиной и грунтом.

Для МГА $k=0$ и неравенство (1) существенно упрощается, принимая вид:

$$\lambda \cdot \varphi \geq f_1 . \quad (2)$$

Проведенный анализ соотношений (1) и (2) позволил выбрать для автотрактора ЭМ-0,6 схему ходовой системы 4К2 (задний ведущий мост) с обеспечением значения $\lambda = 0,63$. При этом было предложено установить на обоих мостах машины односкатные колеса большого диаметра, а ведущий мост оснастить самоблокирующимся дифференциалом.

Расчеты показали, что для транспортно-технологических средств на базе ЭМ-0,6 при номинальных нагрузках коэффициент λ принимает значения: $\lambda = 0,67$ – в режиме МГА; $\lambda = 0,81$ – в режиме МТТ.

Испытания макетных образцов МГА и МТТ подтвердили их высокую проходимость по различным типам опорной поверхности [86,89]. В то же время наблюдения показали, что МТТ при работе в лесу совершает многократные проходы по одному участку волока, что может приводить на слабом грунте к образованию достаточно глубокой колеи и к потере проходимости (посадке машины днищем на грунт).

Такое явление объясняется следующими факторами.

При движении по слабому грунту колесо заглубляется и грунт выпучивается не только впереди обода, но и в очень значительной степени по обе стороны колеса на борта колеи. В результате этого борта сильно возвышаются над поверхностью земли. Направление сил давления односкатного колеса на грунт показано на рис. 7. Полоса выпучивания складывается из двух отрезков **ab** и **a₁b₁**, а опорная полоса **bb₁**, как установлено измерениями при помощи месдоз, составляет чаще всего примерно половину ширины колеса, что и приводит к “резанию” колеи.

С целью снижения глубины колеи было предложено установить на ведущем мосту машины двухскатные колеса. Схема распределения сил давления колес двухскатного профиля представлена на рис. 8. Видно, что на участке **ab** сила давления колеса, передаваясь вертикально на грунт ввиду его выпучивания, изменяет направление в сторону выпучивания. На участке **bc** происходит то же самое, но здесь силы выдавливают грунт в правую сторону от левого ската, встречают противодействие сил, действующих им навстречу от левой стороны правого ската.

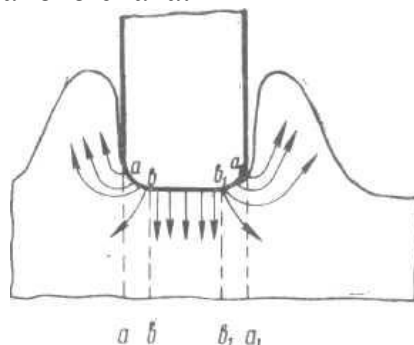


Рис. 7. Схема распределения сил давления односкатного колеса

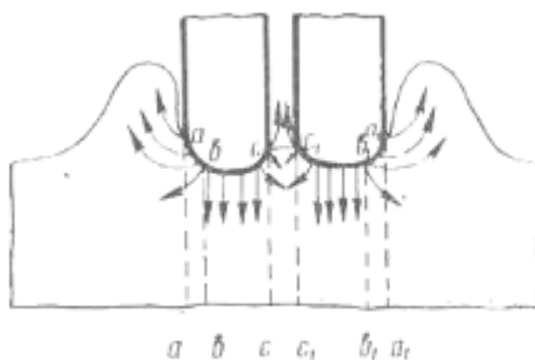


Рис. 8. Схема распределения сил давления двухскатного колеса

В результате получается сравнительно незначительное выпучивание грунта в пространство между скатами, а остальные силы уравниваются. Их равнодействующие направлены почти вертикально вниз и оказывают уплотняющее действие на грунт, находящийся под колесом на полосе **bb**. В то же время грунт, находящийся на полосах **ab** и **a₁b₁**, в основном служит для роста бортов колеи за счет его выпучивания. При этом на небольшой глубине (3...5 см) от поверхности колеи двухскатных шин полоса грунта **cc₁**, находящаяся не под колесами, а между ними, испытывает такое же давление от колес, как и соседние с ней полосы **bc** и **b₁c₁**. Таким образом, при двухскатном профиле полоса грунта, поддерживающая колеса (опорная полоса **bcc₁b₁**), составляет до 90% ширины двухскатного колеса.

Достаточная эффективность двухскатных колес подтверждена экспериментально на дооборудованном МТТ, рис. 9.



Рис. 9. Испытания малогабаритного трелевочного трактора в зимних условиях (установка двускатных колес)

Интенсивность колееобразования резко снизилась: в сопоставимых условиях количество проходов по одному месту до предельного режима (в

виде стопроцентного буксования движителя, посадки машины “днищем” на грунт, заглохания двигателя при превышении сопротивления качению над касательной силой тяги) возросло по сравнению с односкатным вариантом в среднем в 1,5 раза.

Дальнейшее повышение проходимости возможно при использовании на автотракторе полугусеничного хода.

2.3. Анализ конструктивных решений по полугусеничному ходу для колесных машин

По научно-технической и патентной литературе был проведен подбор информации по конструктивным решениям известных полугусеничных ходов.

На рис. 10 представлен съемный полугусеничный ход по а.с. 1652170 (СССР).

Цель изобретения – повышение надежности путем снижения износа и исключения возможности повреждения боковин пневматической шины.

Съемный гусеничный ход транспортного средства содержит ведущее колесо с шиной 1. На обод 2 колеса установлены наружный 3 и внутренний 4 диски с элементами 5 зацепления, причем последние могут быть выполнены в виде цевки, чашки или зуба. С ведущим колесом связано дополнительное (натяжное) колесо 6 с элементами 7 крепления и натяжным механизмом (условно не показан). Оба колеса охватывает бесконечная гусеничная лента 8 с башмаками 9, снабженная элементами 10 зацепления.

Диски 3 и 4 устанавливаются с обеих сторон обода 2 и закрепляются на нем, например, с помощью болтового соединения. Диски выполнены с наружным диаметром, перекрывающим всю боковину шины 1 до протектора. Протектор шины с дополнительными слоями брекера в подушечном слое выступает за диски и выполняет роль упругого резинового бандажа.

В осевом направлении при креплении к ободу 2 диски 3 и 4 плотно поджимают боковины шины 1 к середине обода 2. Таким образом, при установке дисков 3 и 4 пневматическое колесо преобразуется в обрешиненный каток. Причем элементы 10 зацепления гусеничной ленты 8 контактируют со съемными дисками 3 и 4 и элементами 5 зацепления.

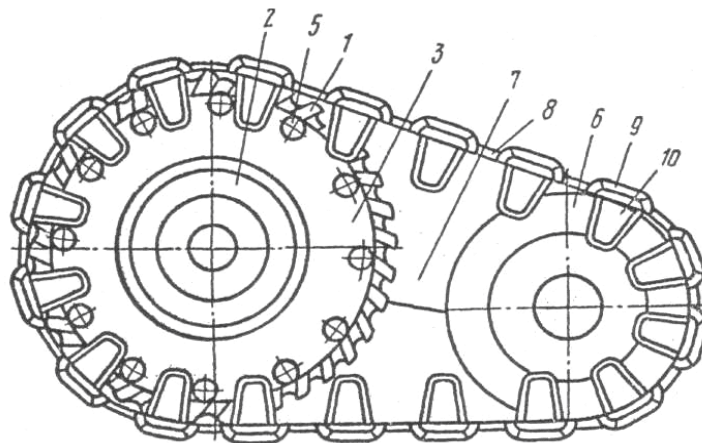


Рис. 10. Полугусеничный ход по а.с. 1652170 (СССР)

Для облегчения монтажа и демонтажа гусеничного хода диск 4, прикрепляемый с внутренней стороны обода 2, выполнен составным из двух или более частей.

Гусеничная лента 8 может быть выполнена как резинометаллической, в которой тяговым элементом является резинотканевая или резинотросовая лента, так и металлической, с традиционным втулочно-пальцевым соединением звеньев.

Возможность использовать практически любую конструкцию гусеничной цепи обусловлена тем, что тяговое усилие в данной конструкции гусеничного хода передается от ведущего колеса на ленту 8 не трением, как в большинстве известных конструкций съемных гусеничных ходов, а элементами 5 и 10 зацепления.

Съемный гусеничный ход устанавливается на транспортное средство при работе на слабых грунтах, в период весенне-осенней распутицы, при необходимости снижения давления на грунт на пахотных землях и т.д. Для этого диски 3 и 4 с элементами 5 зацепления крепятся к ободу 2 ведущего колеса без демонтажа последнего, причем составной диск 4 устанавливается с внутренней стороны обода 2. При креплении дисков обеспечивают совпадение шага элементов 5 зацепления с наружной и внутренней сторон колеса с поджатием боковин шины. Дополнительное колесо 6 устанавливается на раме с помощью элементов 7 крепления. Затем на ведущее и дополнительное колеса надевается гусеничная лента 8 так, чтобы элементы 5 и 10 зацепления взаимодействовали друг с другом. После натяжения гусеничных лент транспортное средство готово к работе.

Демонтаж гусеничного хода производится в обратной последовательности.

При движении транспортного средства элементы 5 зацепления, расположенные на дисках 3 и 4, взаимодействуя с элементами 10 зацепления, расположенными на башмаках 9 гусеничной ленты 8, передают ей тяговое усилие от ведущего колеса. При этом исключается контакт элементов зацепления с боковинами шины 1, что обеспечивает повышение надежности и исключает износ боковин.

На рис. 11 представлена серийная конструкция полугусеничного хода, устанавливаемого на колесные тракторы тягового класса 14 кН.

Полугусеничный ход является съемным приспособлением, предназначенным для повышения проходимости и тягово-сцепных качеств трактора при работе на влажных и рыхлых почвах, а также в зимний период по снежному покрову.

Полугусеничный ход используют только в те периоды, когда трактор имеет повышенное буксование, оставляет глубокую колею и не развивает необходимой силы тяги на крюке. В остальное время применять полугусеничный ход не рекомендуется, так как при этом снижаются технико-экономические показатели трактора.

Полугусеничный ход является универсальным средством улучшения тяговых и агротехнических качеств колесных тракторов. Влияние такого хода на тяговые показатели трактора было проверено на тракторах класса 0,6 и 0,9

(Т-40), а для тракторов класса 1,4 (МТЗ-50 и МТЗ-80) конструкция его доведена до серийного производства.

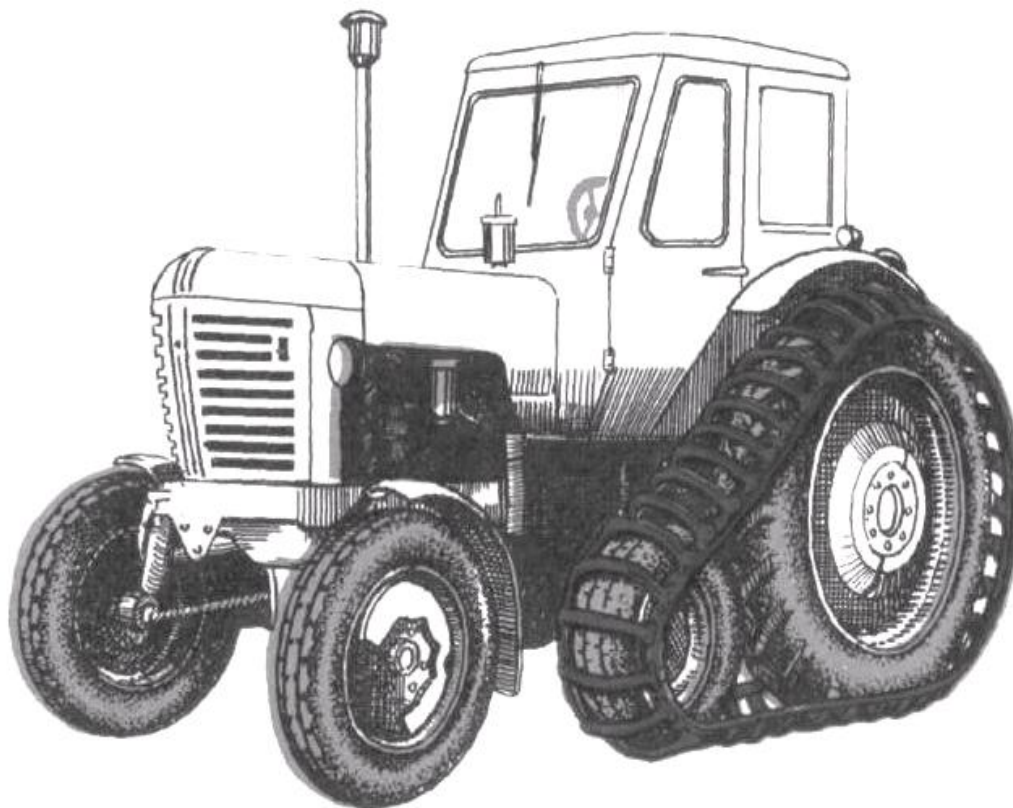


Рис. 11. Полугусеничный ход трактора тягового класса 14 кН

На рыхлой влажной почве полугусеничный ход увеличивает тяговую мощность трактора класса 0,6 примерно на 50%, а тяговое усилие – на 60%, однако при этом возрастает сопротивление повороту трактора.

Похожие характеристики имеет навешиваемый на любой тип трактора полугусеничный ход “Роутапед” фирмы “Лифорд” (Лондон), который рассчитан для работы на любой почве при оптимальной скорости движения без разрушения почвенной корки. По данным фирмы, полугусеница увеличивает тяговое усилие на 100% и уменьшает давление на почву более чем на 85%. Смена колес на гусеницу занимает менее получаса. Средняя ширина гусеницы составляет 11,5 дюймов. Имеется два типа полугусеничного хода “Роутапед”: 34/12 и 25/12. Модель 34/12 имеет площадь соприкосновения с почвой 322 кв.дюйма (2107 см²), модель 25/12 – 230 кв.дюйма (1484 см²).

На рис. 12, 13 и 14 представлены конструкции полугусеничного хода, разработанные зарубежными фирмами и устанавливаемые на современные трелевочные и сельскохозяйственные колесные тракторы.

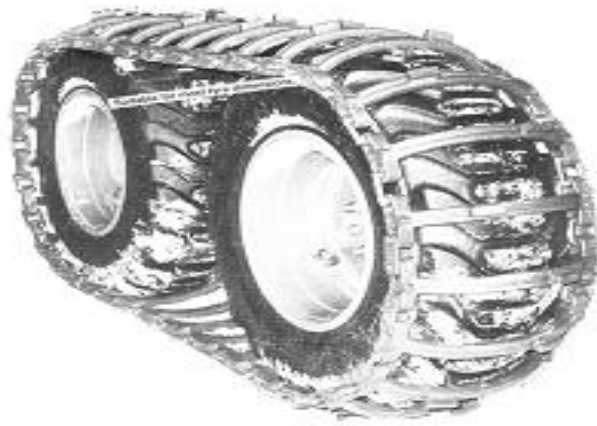


Рис. 12. Съемный гусеничный ход фирмы Osa (Швеция)



Рис. 13. Съемный гусеничный ход фирмы Валмет (Финляндия)



Рис. 14. Полугусеничный ход трактора МТЗ-80, разработанный фирмой “Лодо” (Италия)

2.4. Методика выбора и расчет параметров полугусеничного хода

Традиционным показателем, применяемым для оценки проходимости мобильных тягово-транспортных гусеничных машин, является среднее удельное давление q :

$$q = \frac{G_{\text{э}}}{2 \cdot L \cdot b}, \quad (3)$$

где $G_{\text{э}}$ – эксплуатационный вес машины; L – длина опорной поверхности; b – ширина гусеницы.

Простота математической формулировки, достаточный объем накопленной информации, например, по проходимости различных гусеничных машин, имеющих то или иное значение среднего удельного давления, обусловили общепринятость этого понятия, которое широко используется и в нормативных документах [2].

Для мобильного тягово-транспортного средства, оснащенного полугусеничным ходом, формула (3) должна быть уточнена с учетом части веса машины, передающейся на почву через гусеницы левого и правого бортов:

$$q = \frac{\lambda \cdot G_{\text{э}}}{2 \cdot L \cdot b}, \quad (4)$$

где λ – коэффициент нагрузки ведущих колес.

Как известно, МТТ имеет два резко отличающихся режима движения по лесосеке: холостой ход и грузовой ход. Для оценки проходимости МТТ при грузовом ходе среднее удельное давление q следует определять с учетом части веса пачки $k \cdot Q$, приходящейся на машину, по формуле:

$$q_{\text{ср}} = \frac{\lambda \cdot (G_{\text{э}} + k \cdot Q)}{2 \cdot L \cdot b}. \quad (5)$$

Проходимость гусеничных машин на грунтах с низкой несущей способностью ориентировочно может быть оценена по следующей зависимости, предложенной специалистами ЦНИИМЭ:

$$(1,5 \dots 2,5) \cdot q_{\text{ср}} \leq q_{\text{нес}}, \quad (6)$$

где $q_{\text{ср}}$ – среднее удельное давление, кПа; $q_{\text{нес}}$ – несущая способность грунта, кПа.

При несущей способности грунта $q_{\text{нес}} = 50 \dots 70$ кПа среднее удельное давление полугусеничного хода должно составлять с учетом условия (6) не более

$$q_{\text{ср}} = (50 \dots 70) / (1,5 \dots 2,5) = 20 \dots 47 \text{ кПа.}$$

Для дальнейших расчетов принимается $q_{\text{ср}} = 30$ кПа.

Из формулы (4) с учетом вышеприведенных данных ($G_{\text{э}} = 2100 \cdot 9,81 = 25190$ Н = 25,19 кН; $k \cdot Q = 10,5$ кН; $\lambda = 0,81$) при принятой конструктивно ширине гусеницы $b = 0,52$ м можно получить длину опорной поверхности:

$$L = \frac{0,81 \cdot (25,19 + 10,5)}{2 \cdot 30 \cdot 0,52} = 0,926 \text{ м.}$$

Гусеницу полугусеничного хода целесообразно выполнить в виде резиновой ленты, снабженной металлическими грунтозацепами.

Диаметр d_n натяжных колес гусеницы можно принять в соответствии с эмпирическим соотношением, характерным для существующих конструкций полугусеничного хода:

$$d_n = (0,5...0,6) \cdot D_{\text{вк}}, \quad (7)$$

где $D_{\text{вк}}$ – диаметр ведущих колес.

Каждое натяжное колесо гусеницы установлено на подпружиненном рычаге и воспринимает часть силы тяжести автотрактора.

Усилие, воспринимаемое каждым натяжным колесом, можно определить, используя данные по существующим конструкциям. На рис. 15 представлена по данным [98, с. 76] экспериментальная эпюра нормальных давлений на почву полугусеничного движителя.

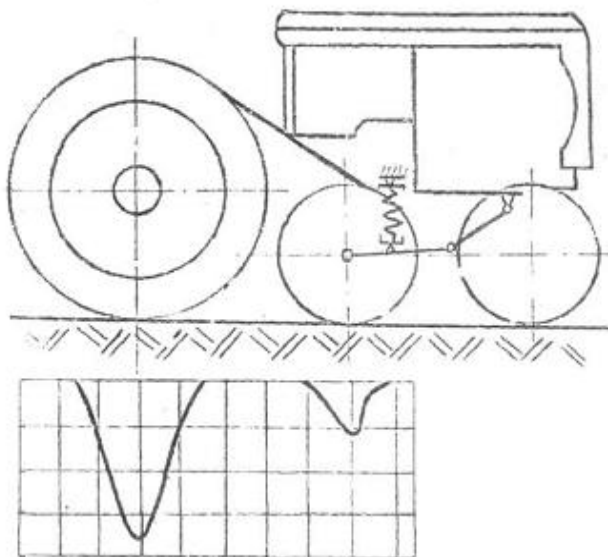


Рис. 15. Экспериментальная эпюра нормальных давлений на почву полугусеничного движителя, установленного на колесном тракторе

С учетом данных рис. 15 далее принимается, что максимальное нормальное усилие на натяжное колесо каждого борта при движении по ровной горизонтальной поверхности должно составлять примерно 10% веса груженого МТТ.

2.5. Краткое описание предлагаемой конструкции полугусеничного хода автотрактора

Предлагаемая конструкция полугусеничного хода представлена на рис. 16.

Полугусеничный ход содержит натяжное колесо 6, закрепленное на рычаге

7, установленном шарнирно при помощи серьги 8 относительно остова машины. Рычаг подпружинен при помощи предварительно сжатой пружины, установленной в надпоршневой полости гидроцилиндра 12. Предварительное сжатие пружины выбрано с учетом кинематики рычага и принятых мест крепления гидроцилиндра и обеспечивает при движении по ровной горизонтальной поверхности максимальное нормальное усилие на натяжное колесо, равное 10% веса груженого МТТ.

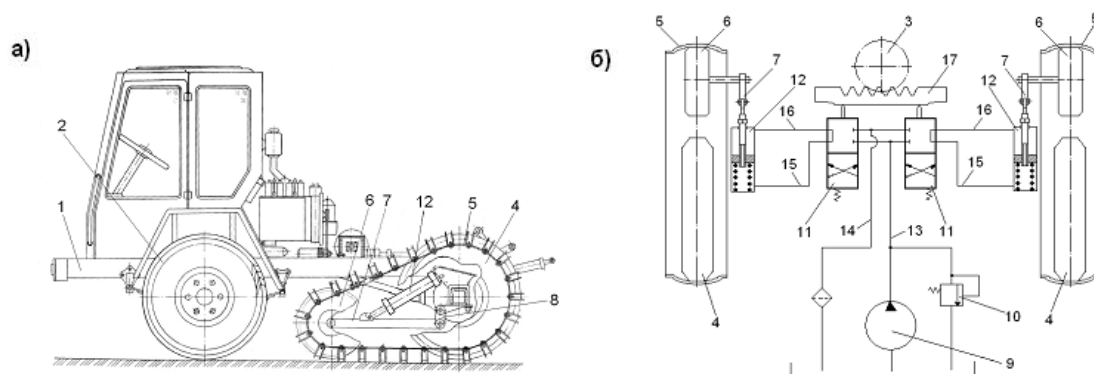


Рис. 16. Автотрактор с управляемым при повороте полугусеничным ходом отстающего борта:

а – вид сбоку на автотрактор; б – гидрокинематическая схема управления:

- 1 – шасси; 2 – управляемые передние колеса; 3 – рулевой вал;
 4 – задние ведущие колеса; 5 – гусеница; 6 – натяжное колесо; 7 – балансиры;
 8 – серьга; 9 – насос; 10 – напорный клапан; 11 – гидрораспределители;
 12 – гидроцилиндры; 13 – напорная гидролиния; 14 – сливная гидролиния;
 15, 16 – гидролинии; 17 – копир

Гусеница 5 полугусеничного хода представляет собой резиновую ленту с прикрепленными к ней при помощи болтового крепления металлическими грунтозацепами. Момент затяжки резьбовых соединений принят равным 17,5 Н·м, что обеспечивает необходимую надежность крепления. Грунтозацепы выполнены в виде планок, имеющих криволинейную конфигурацию средней части. Такая конфигурация планок обеспечивает устойчивость положения гусеницы на ведущем и натяжном колесах при действии боковых нагрузок. Шаг грунтозацепов принят равным 160 мм, высота грунтозацепов принята равной 50 мм. Для повышения эффективности передачи тягового усилия от ведущего колеса к гусенице планки грунтозацепов в средней части снабжены цилиндрическими выступами, размещенными на внутренней стороне грунтозацепов в шахматном порядке. С целью обеспечения удобства монтажа и демонтажа гусеница снабжена замыкающим участком в виде скоб длиной 80 мм, установленных при помощи пальцев в кронштейнах планок смежных грунтозацепов. Пальцы зафиксированы от осевого перемещения при помощи шплинтов. Расчетная трудоемкость установки полугусеничного хода составляет не более 0,4 чел.-ч. Масса одной гусеницы – не более 50 кг, всего

полугусеничного хода (две гусеницы, два натяжных колеса, гидроцилиндры, рычаги, оси и т.д.) – не превосходит 200 кг, что составляет менее 10% эксплуатационной массы автотрактора в комплектации МТТ.

Проведенный анализ показал, что повороты автотрактора с полугусеничным ходом в условиях снежного покрова большой высоты сопровождаются повышенными сопротивлениями, например, от нагребания грунта, что ограничивает маневренность автотрактора и снижает его производительность. Предложено, см. патент РФ №2441794 на изобретение, снизить сопротивления полугусеничного хода при крутых поворотах за счет подъема натяжного колеса отстающего борта гидроцилиндром, шток которого связан через балансир с осью натяжного колеса, а корпус – с остовом автотрактора. Надпоршневая полость гидроцилиндра снабжена пружинным амортизатором. Рабочая жидкость поступает в гидроцилиндр через четырехлинейный двухпозиционный распределитель, первая линия которого связана с надпоршневой полостью гидроцилиндра, вторая – с нагнетающей полостью насоса, третья – со штоковой полостью гидроцилиндра и четвертая – со сливом, при этом вторая и четвертая линии в первой позиции распределителя связаны соединительной гидролинией. Распределитель посредством кулачка связан с копиром, перемещаемым рулевым валом автотрактора, и снабжен пружинным возвратом, см. рис. 16.

При прямолинейном движении автотрактора гидрораспределители 11 располагаются в позиции, в которой его вторая и четвертая линии связаны друг с другом соединительной гидролинией. При этом насос 9 перекачивает рабочую жидкость на слив через клапан 10. Натяжные колеса 6, связанные через балансиры 7 со штоками гидроцилиндров 12, благодаря предварительному сжатию пружинных амортизаторов в надпоршневых полостях гидроцилиндров прижимают гусеницы 5 к поверхности движения автотрактора и могут совершать независимые вертикальные перемещения, обусловленные рельефом поверхности движения, при этом гидролинии 15 и 16 через двухпозиционные гидрораспределители связаны друг с другом, что обеспечивает перетекание рабочей жидкости из одной полости каждого гидроцилиндра в другую.

При крутом повороте автотрактора в одну из сторон, например, влево, водитель воздействует на рулевой вал 3, который перемещает копир 17 вправо. Кулачок левого гидрораспределителя попадает в левую периферийную выемку копира 17, и пружинный возврат переводит левый гидрораспределитель в позицию, при которой его первая линия связана с четвертой, а вторая – с третьей. Напорная гидролиния 13 сообщается с гидролинией 16, обеспечивающей подвод рабочей жидкости к штоковой полости левого гидроцилиндра, а сливная гидролиния 14 сообщается с гидролинией 15. Клапан 10 определяет необходимый уровень давления в гидросистеме и защищает ее. Под давлением рабочей жидкости поршень гидроцилиндра перемещается, сжимая пружинный амортизатор, а шток гидроцилиндра втягивается, вызывая подъем левого натяжного колеса, что уменьшает площадь соприкосновения с грунтом полугусеничного хода отстающего борта автотрактора и снижает

сопротивление повороту. Правый гидрораспределитель при этом находится в позиции, соответствующей прямолинейному движению, и полугусеничный ход забегающего борта автотрактора сохраняет площадь соприкосновения с грунтом и в полной мере реализует сцепление с грунтом, обеспечивая тяговую мощность.

При выходе из поворота левый гидрораспределитель переходит в исходную позицию, пружинный амортизатор, воздействуя на поршень левого гидроцилиндра, приводит к вытягиванию штока, что вызывает опускание левого натяжного колеса.

Поворот в правую сторону производится аналогично, но с участием правых гидрораспределителя 11 и гидроцилиндра 12.

Использование предложенного схемного решения обеспечивает повышение эффективности крутого поворота автотрактора за счет снижения сопротивления повороту и полного по условиям сцепления использования мощности, маневренности, проходимости и экономичности.

2.6. Функциональные и прочностные расчеты автотрактора с полугусеничным ходом

2.6.1. Оценка маневренности автотрактора

С целью анализа затрат мощности двигателя при крутом повороте автотрактора, оснащенного полугусеничным ходом, были проведены расчеты по предложенной оригинальной методике [37].

На расчетной схеме, рис. 17, передний мост заменен обобщенным колесом, взаимодействующим с опорной поверхностью в точке O_1 , к которому приложена сила сопротивления качения P_{fn} переднего моста и поворачивающая сила P_n . Гусеницы условно не показаны, боковой увод колес не учитывается. К гусенице забегающего борта приложены сила сопротивления качения P'_{f3} и касательная сила тяги P'_k , а к гусенице отстающего борта – соответственно сила сопротивления качения P''_{f3} и касательная сила тяги P''_k . Грунт, нагребаемый торцевыми поверхностями гусениц обоих бортов, создает силы сопротивления повороту, эпюра которых показана на схеме.

Силы сопротивления качения колес переднего моста и гусениц обоих бортов:

$$P_{fn} = f_n \cdot (1 - \lambda) \cdot G, \quad (8)$$

$$P'_{f3} = P''_{f3} = 0,5 \cdot f_3 \cdot \lambda \cdot G, \quad (9)$$

где f_n и f_3 – коэффициенты сопротивления качению колес и гусениц, λ – коэффициент нагрузки задних ведущих колес, G – полный вес автотрактора.

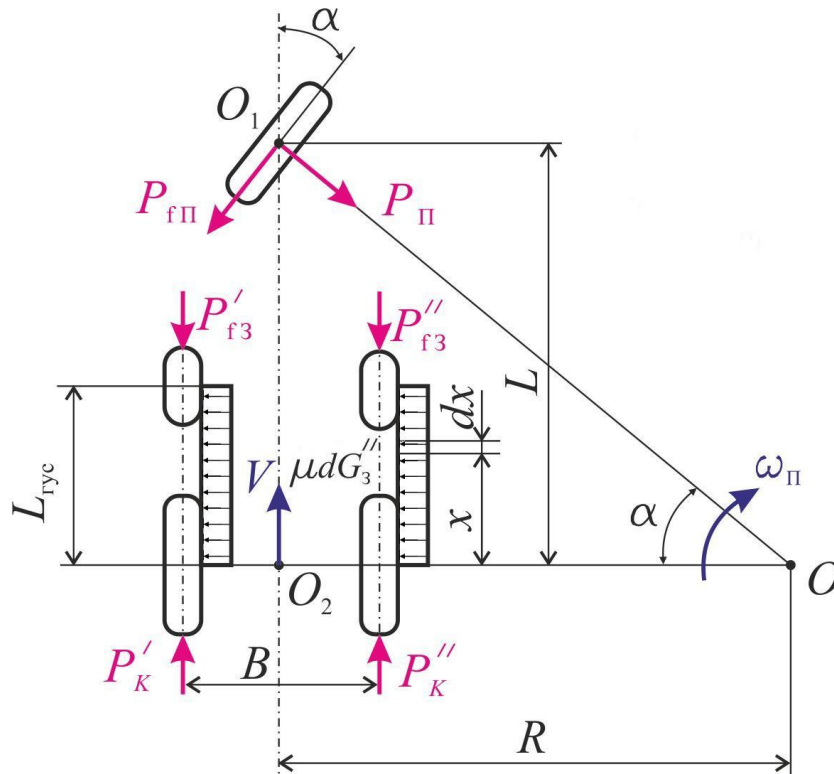


Рис. 17. Схема к расчету поворота автотрактора с полугусеничным ходом

Рассматривая установившееся движение на повороте, можно составить уравнение равновесия в виде:

$$M_{нов} - M_{сопр} = 0, \quad (10)$$

где $M_{нов}$, $M_{сопр}$ – суммы моментов движущих сил и сил сопротивления движению соответственно.

С учетом рис. 17 и принимая, что включена блокировка дифференциала, а эпюры нормальных нагрузок на опорную поверхность под гусеницами равномерны, можно записать:

$$M_{нов} = P'_K \cdot (R + 0,5 \cdot B) + P''_K \cdot (R - 0,5 \cdot B) = P_{K_{нов}} \cdot R, \quad (11)$$

$$M_{сопр} = P_{fn} \cdot \sqrt{R^2 + L^2} + P'_{f3} \cdot (R + 0,5 \cdot B) + P''_{f3} \cdot (R - 0,5 \cdot B) + 2 \cdot \int_0^{L_{гус}} \mu \cdot \frac{\lambda \cdot G}{L_{гус}} \cdot x \cdot dx. \quad (12)$$

Подставляя выражения в (10) и производя преобразования, можно получить:

$$P_{K_{нов}} = f_n \cdot (1 - \lambda) \cdot G \cdot \frac{\sqrt{R^2 + L^2}}{R} + f_3 \cdot \lambda \cdot G + \mu \cdot \lambda \cdot G \cdot \frac{L_{гус}}{R}. \quad (13)$$

При подъеме натяжного колеса гусеницы отстающего борта выражение (13) примет вид:

$$P_{K_{нов}} = f_n \cdot (1 - \lambda) \cdot G \cdot \frac{\sqrt{R^2 + L^2}}{R} + f_3 \cdot \lambda \cdot G + 0,5 \cdot \mu \cdot \lambda \cdot G \cdot \frac{L_{гус}}{R}. \quad (14)$$

Результаты расчетов по формулам (13) и (14) представлены на рис. 18.

Из графиков на рис. 18 наглядно видно, что подъем натяжного колеса гусеницы отстающего борта существенно снижает требуемую касательную силу тяги, особенно при малых радиусах поворота.

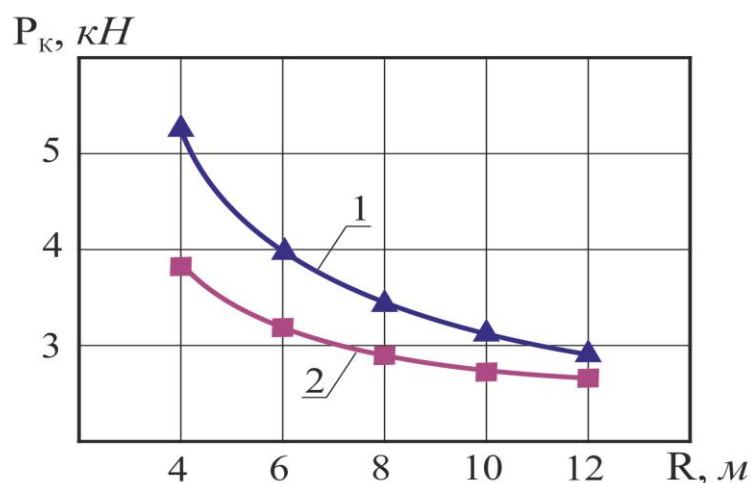


Рис. 18. Зависимости потребной касательной силы тяги P_k от радиуса поворота R автотрактора: 1 – при взаимодействии с грунтом гусениц обоих бортов; 2 – при поднятом натяжном колесе отстающего борта

Рассмотрим крутой ($R = 4$ м) поворот автотрактора, имеющего на входе в поворот скорость V , км/ч. Затраты мощности двигателя автотрактора при этом можно определить по формуле:

$$N = \frac{P_{k_{пов}} \cdot V}{3,6 \cdot \eta} \text{ кВт}, \quad (15)$$

где η – КПД силовой передачи.

Результаты расчетов по формуле (15) представлены на рис. 19.

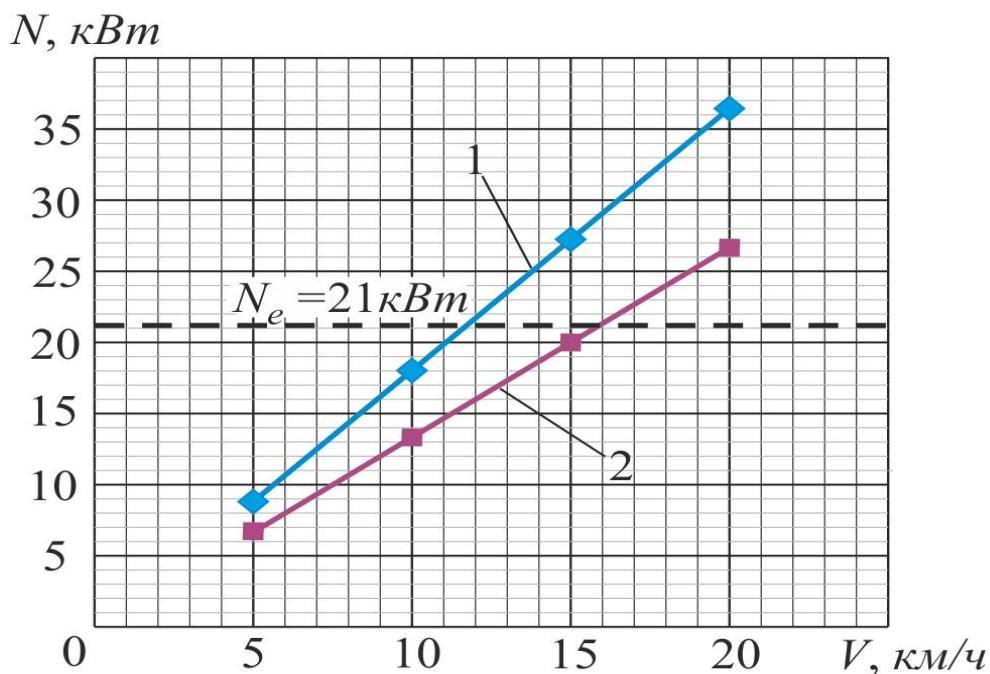


Рис. 19. Зависимости затрат мощности N на крутой поворот автотрактора от скорости V вхождения его в поворот: 1 – при взаимодействии с грунтом гусениц обоих бортов; 2 – при поднятом натяжном колесе отстающего борта

Анализ графиков на рис. 19 показал:

1. Затраты мощности двигателя при крутом повороте автотрактора с поднятым натяжным колесом отстающего борта снижаются во всем диапазоне скоростей движения.

2. Использование подъема натяжного колеса отстающего борта позволяет увеличить не менее чем на 30% предельную по условию мощности двигателя скорость вхождения автотрактора в крутой поворот.

Таким образом, использование предложенного схемного решения управляемого полугусеничного хода обеспечивает проходимость и маневренность автотрактора, что способствует повышению транспортной производительности.

2.6.2. Прочностной расчет основных силовых элементов полугусеничного хода

2.6.2.1. Расчет грунтозацепа

В просмотренной литературе практически отсутствуют методики прочностного расчета силовых элементов полугусеничного хода. Поэтому можно в первом приближении использовать методику, рекомендуемую для расчета звеньев гусениц машин высокой проходимости, дополнив ее уточнением по определению действующих нагрузок.

Расчет планки грунтозацепа на изгиб осуществляется по формуле:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W_u}, \quad (16)$$

где M_u – изгибающий момент, W_u – момент сопротивления изгибу.

Величина M_u в зависимости от твердости грунта определяется следующим образом. На твердом неровном грунте планки грунтозацепа рассчитывается как балка на двух опорах с нагрузкой Q_i (от ведущего колеса), приложенной посередине. Тогда

$$M_u = \frac{Q_i \cdot t_z}{4}, \quad (17)$$

где t_z – длина центральной части планки грунтозацепа, для принятой конструкции $t_z = 280 \text{ мм} = 0,28 \text{ м}$.

Нагрузка Q_i может быть определена с учетом того, что ведущее колесо одновременно контактирует с несколькими планками.

$$Q_i = \frac{\lambda \cdot (G_s + k \cdot Q)}{2 \cdot n}, \quad (18)$$

где n – число планок, находящихся на опорной поверхности ведущего колеса, для расчета можно принять $n = 6$.

Подставляя численные значения в формулы (18) и (17), можно получить:

$$Q_i = \frac{0,81 \cdot (25,19 + 10,5)}{2 \cdot 6} = 2,4 \text{ кН} = 2400 \text{ Н.}$$

$$M_u = 2400 \cdot 0,28 / 4 = 672 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Сечение планки с учетом ребер жесткости представляет собой швеллер, номер профиля 5. Момент сопротивления изгибу для такого швеллера составляет

$$W_u = 2,75 \text{ см}^3 = 2,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Подставляя численные значения в формулу (16), можно получить:

$$\sigma_n = \frac{672}{2,75 \cdot 10^{-6}} = 244 \text{ МПа}.$$

Материал планки сталь 45Х, НВ 241 ... 302, образцы которой после улучшения имеют $\sigma_B = 950 \text{ МПа}$, $\sigma_T = 750 \text{ МПа}$ и $\sigma_{-1} = 470 \text{ МПа}$.

Запас статической прочности:

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_n} = \frac{750}{244} = 3,07.$$

Допускаемый запас прочности определяется дифференциальным методом по формуле [78]:

$$n_T = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3, \quad (19)$$

где n_1 – основной коэффициент запаса, учитывающий отклонение механических характеристик от нормативных вследствие нарушения технологии изготовления, наличие остаточных напряжений, влияние концентраторов напряжений на прочность детали при малом числе циклов нагружения и т.д. Для сталей принимают $n_1 = 1,2 \dots 1,5$; n_2 – коэффициент запаса, зависящий от точности учета нагрузок и принятых методов расчета, обычно $n_2 = 1,0 \dots 1,5$; n_3 – коэффициент запаса, учитывающий ответственность конструкции. В большинстве случаев принимают $n_3 = 1,0$; в тех случаях, когда поломки детали могут привести к аварийным ситуациям или связаны с очень большими материальными затратами, значение n_3 увеличивают до 1,5.

Принимая $n_1 = 1,3$, $n_2 = 1,2$, $n_3 = 1,2$, получим

$$n_T = 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 1,8.$$

Вывод: прочность планки грунтозацепа на твердом грунте достаточна.

На мягком грунте планку грунтозацепа можно рассчитать как плиту на упругом основании:

$$M_u = \frac{Q_i}{4B}; \quad B = \sqrt[4]{\frac{k_1 b}{4EI}}, \quad (20)$$

где k_1 – податливость грунта; для наиболее опасного случая (пашня) $k_1 = 0,05 \div 0,15 \text{ МПа}$.

Момент инерции сечения планки целесообразно в данном случае определять без учета ребер жесткости

$$I = 0,05 \cdot 0,006^3 / 12 = 9,0 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3.$$

Подставляя численные значения в формулу (20), можно получить:

$$B = \sqrt[4]{0,15 \cdot 0,05 / (4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 9,0 \cdot 10^{-10} \cdot 1,25)} = 1,775.$$

$$M_n = 2400 / (4 \cdot 1,775) = 338 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Так как расчетное значение M_n в данном случае ниже, чем ранее определенное для случая работы на твердом грунте, можно сделать вывод о достаточной прочности планки.

2.6.2.2. Расчет крепления грунтозацепа

Болтовое крепление грунтозацепа к резиновой ленте гусеницы выполнено болтами М12. Расчет болта крепления можно проводить на срез по формуле:

$$\tau_{cp} = \frac{0,5 \cdot P \cdot 4}{n_b \cdot \pi \cdot d^2}, \quad (21)$$

где P – касательная сила тяги энерго модуля; $d = 7,5 \text{ мм} = 0,0075 \text{ м}$ – диаметр болта по впадинам резьбы; n_b – число болтов крепления, воспринимающих одновременно нагрузку P .

Касательная сила тяги энерго модуля должна определяться с учетом сцепления с грунтом:

$$P = \varphi \cdot \lambda \cdot G_s + k \cdot Q_s. \quad (22)$$

Принимая коэффициент сцепления $\varphi = 0,3$ и подставляя данные в формулу (22), можно получить:

$$P = 0,3 \cdot 0,81 \cdot (5,19 + 10,5) = 8,43 \text{ кН} = 8430 \text{ Н}.$$

Принимая число болтов $n_b = 28$ и подставляя данные в формулу (21), можно получить:

$$\tau_{cp} = \frac{0,5 \cdot 8430 \cdot 4}{28 \cdot 3,14 \cdot 0,0075^2} = 34,1 \text{ МПа}.$$

Допускаемое напряжение на срез для сталей 15, 20, 25 можно принять равным $[\tau_{cp}] = 85 \text{ МПа}$.

Вывод: прочность болтового крепления достаточна.

2.7. Вариант конструкции автотрактора с полугусеничным ходом со сниженным сопротивлением передвижению

Проведенный анализ показал, что проходимость автотрактора с полугусеничным ходом в условиях снежного покрова большой высоты может быть повышена путем снижения сопротивления передвижению передних управляемых колес, что достигается следующим образом [32].

В пространстве между управляемыми передними колесами устанавливается лыжа, связанная с рамой остова транспортного средства при помощи силового цилиндра, рычагов и тяги, рис. 20. Перемещением лыжи вниз обеспечивается разгрузка передних управляемых колес от силы тяжести транспортного средства. Рациональным выбором размеров лыжи достигается низкое удельное давление на опорную поверхность, что существенно снижает сопротивление передвижению транспортного средства.

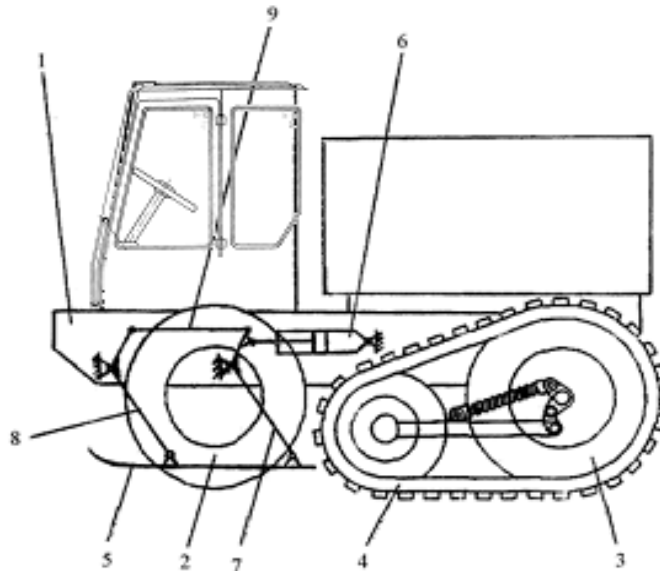


Рис. 20. Конструкция со сниженным сопротивлением движению:
 1 – остов с рамой; 2 – передние управляемые колеса; 3 – задние ведущие колеса; 4 – полугусеничный ход; 5 – лыжа; 6 – силовой цилиндр; 7, 8 – рычаги; 9 – тяга

Для обеспечения поступательного движения лыжи 5 вверх и вниз, лыжа и рама остова 1 транспортного средства связаны при помощи силового цилиндра 6, шарнирно соединенного с рычагом 7, связанным с рычагом 8 посредством тяги 9. Силовой цилиндр подключен к пневмо- или гидросистеме транспортного средства (условно не показаны).

Для обеспечения движения по снежному покрову большой высоты лыжа опускается вниз силовым цилиндром, который, срабатывая от пневмо- или гидросистемы автотрактора, перемещает свой шток и связанный с ним рычаг 7. Рычаг 7, перемещаясь, приводит в движение рычаг 8 посредством тяги 9. Рычаги 7 и 8 удерживают лыжу в крайнем нижнем положении. Величина перемещения лыжи вниз выбирается таким образом, чтобы максимально разгрузить передние управляемые колеса 2 от силы тяжести автотрактора.

Поступательное движение автотрактора обеспечивается вращением ведущих колес, обеспечивающих перемотку гусениц полугусеничного хода.

При необходимости изменения направления движения автотрактора лыжа перемещается вверх силовым цилиндром, рычагами 7 и 8, взаимосвязанных тягой, до положения, при котором сопротивление передвижению управляемых колес будет достаточно для поворота машины.

Экономический эффект достигается за счет повышения рейсовых нагрузок и снижения расхода топлива благодаря улучшению проходимости автотрактора по опорным поверхностям со снежным покровом большой высоты.

Предварительный выбор размеров лыжи можно провести с учетом известного опыта проектирования аэросаней. Так, для аэросаней рекомендуется назначать длину рабочего участка лыжи в 6,5...10 раз больше ее ширины, а площадь рабочего участка лыжи должна обеспечить удельное давление на снег не более $q_{сн} = 5...6$ кПа.

На лыжу приходится часть веса автотрактора, определяемая с учетом ранее принятых данных:

$$Q_l = (1 - \lambda) \cdot (G_{\text{э}} + k \cdot Q) = (1 - 0,81) \cdot (25,19 + 10,5) = 6,78 \text{ кН}. \quad (23)$$

Площадь лыжи при $q_{\text{сн}} = 10$ кПа составит:

$$F_l = \frac{Q_l}{q_{\text{сн}}} = \frac{6,78}{10} = 0,678 \text{ м}^2. \quad (24)$$

Принимая ширину лыжи 350 мм, получим, что длина ее рабочего участка может быть не более 1950 мм.

Коэффициент трения стальной подошвы лыжи о снег при температуре минус 4°C составляет, например, при движении по рыхлой снежной целине $f_l = 0,03 \dots 0,05$. Для этого же фона коэффициенты сопротивления качению составляют: для колес $f_{\text{кол}} = 0,20 \dots 0,25$, для гусениц $f_{\text{гус}} = 0,12 \dots 0,15$.

Сопротивление самопередвижению автотрактора:

– с колесно-гусеничной ходовой системой

$$P_f = (1 - \lambda) \cdot f_{\text{кол}} (G_{\text{э}} + k \cdot Q) + \lambda \cdot f_{\text{гус}} \cdot (G_{\text{э}} + Q) = (1 - 0,81) \cdot 0,25 \cdot (25,19 + 10,5) + 0,81 \cdot 0,15 \cdot (25,19 + 10,5) = 6,03 \text{ кН} \quad ; \quad (25)$$

– с лыжно-гусеничной ходовой системой

$$P_f = (1 - \lambda) \cdot f_l (G_{\text{э}} + k \cdot Q) + \lambda \cdot f_{\text{гус}} \cdot (G_{\text{э}} + Q) = (1 - 0,81) \cdot 0,05 \cdot (25,19 + 10,5) + 0,81 \cdot 0,15 \cdot (25,19 + 10,5) = 4,68 \text{ кН} \quad . \quad (26)$$

Таким образом, применение лыжи снижает сопротивление самопередвижению автотрактора не менее чем в $6,03/4,68 = 1,29$ раза.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Каково номинальное давление гидропривода на рис.16 при четвертом исполнении гидроагрегатов по давлению?

2. Сформулируйте основные требования к конструкции полугусеничного хода автотрактора.

3. Определите максимальные скорости движения автотрактора в комплектации с колесно-гусеничной и лыжно-гусеничной ходовыми системами. При решении задачи используйте данные в формулах (25) и (26).

4. Оцените продолжительность крутого поворота автотрактора с лыжно-гусеничной ходовой системой.

5. Подберите и изучите описания к патентам на изобретения Российской Федерации по полугусеничному ходу.

6. Подберите и изучите описания к патентам на изобретения ведущих зарубежных стран (США, Великобритания и др.) по полугусеничному ходу.

3. ПРОБЛЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ С САМОПОГРУЗКОЙ-РАЗГРУЗКОЙ

3.1. Самосвальный кузов аппаратного типа

Известные транспортные средства имеют, как правило, большую погрузочную высоту и не оснащены средствами механизации погрузки. Это снижает производительность транспортных средств при перевозке штучных и затаренных грузов.

В РИИ АлтГТУ проработана возможность приспособления транспортного средства – автотрактора к погрузке штучных и затаренных грузов.

В результате было предложено самосвальный кузов установить на раме шасси с возможностью упора в погрузочном положении в опорную поверхность транспортного средства с образованием угла наклона $50-55^\circ$ днища кузова к этой поверхности [42]. Кинематически это обеспечивается посредством двух многозвенников (по одному на каждый борт), каждый из которых состоит из двух гидроцилиндров и двуплечего рычага, установленного шарнирно на остовае шасси, при этом одной из сторон каждого многозвенника является днище кузова. На раме шасси между кабиной и кузовом предлагается смонтировать лебедку с приводом и тросом, причем трос лебедки запасовать в блок, установленный на передней стенке самосвального кузова.

Предложенное схемное решение автотрактора с кузовом аппаратного типа поясняется чертежами на рис. 21.

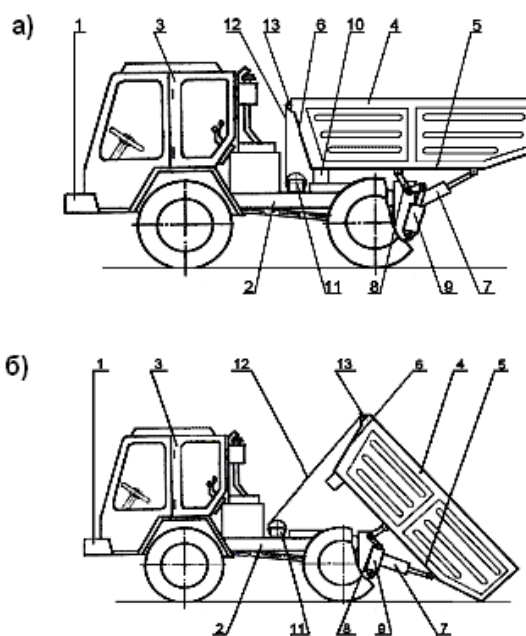


Рис. 21. Автотрактор с самосвальным кузовом аппаратного типа:
а) в транспортном положении; б) в погрузочном положении

При транспортировке грузов можно выделить несколько операций технологического цикла работы: погрузка, грузовой ход, разгрузка и холостой ход.

При погрузке штучных и затаренных грузов штоки гидроцилиндров 7 и 9 втянуты и самосвальный кузов 4 аппарельного типа находится в погрузочном положении, взаимодействуя с остовом 2 через опору 10, которая передает нагрузки от части веса кузова и находящегося в нем груза. Задняя кромка днища 5 кузова упирается в опорную поверхность автотрактора, при этом днище кузова получает угол наклона $50-55^\circ$ к указанной поверхности. Упор днища в опорную поверхность означает нулевую высоту погрузки, что в сочетании с его наклоном к опорной поверхности создает благоприятные условия для перемещения штучных и затаренных грузов. Канат 12 лебедки 11, запасованный в блок 13, прикрепляется к погружаемому грузу. Включением привода лебедки осуществляется перемещение каната (намотка на барабан лебедки) и затаскивание груза в кузов по наклонной поверхности днища. Следует отметить, что при помощи каната можно не только перемещать груз по днищу кузова, но и подтягивать штучный или затаренный груз к автотрактору, что расширяет функциональные возможности. После затаскивания штучного или затаренного груза в кузов производится перевод кузова в транспортное положение за счет вытягивания штоков гидроцилиндров 7 и 9, а привод лебедки после соответствующей намотки каната отключается. В конце перевода кузова в транспортное положение опора 10, снабженная амортизатором в виде резинового блока-буфера, снижает динамические удары кузова об остов шасси 1 автотрактора.

При грузовом ходе автотрактора гидроцилиндров 7 и 9 вытянуты и самосвальный кузов находится в транспортном положении, взаимодействуя с остовом через опору 10, которая передает нагрузки от части веса кузова и находящегося в нем груза. Другая часть веса кузова и находящегося в нем груза передается на остов 2 через двуплечие рычаги 8 и гидроцилиндры 7 и 9.

При разгрузке автотрактора штоки гидроцилиндров 7 и 9 вытягиваются, и самосвальный кузов поворачивается в вертикальной продольной плоскости, и его днище получает наклон к опорной поверхности автотрактора. Привод лебедки включается на размотку каната, и находящийся в кузове штучный или затаренный груз получает возможность к самосвальной разгрузке. По окончании разгрузки, когда груз окажется на опорной поверхности, канат отцепляется от штучного или затаренного груза. Последующей намоткой каната и переводом кузова в транспортное положение за счет вытягивания штоков гидроцилиндров 7 и 9 автотрактор подготавливается к совершению холостого хода (движению от места разгрузки к месту загрузки).

После совершения холостого хода цикл повторяется.

Экономический эффект достигается за счет роста производительности при перевозке штучных и затаренных грузов. Упор кузова аппарельного типа в опорную поверхность автотрактора позволяет получить нулевую погрузочную высоту днища, а наклон днища кузова к этой поверхности под углом $50-55^\circ$ и наличие лебедки с приводом и канатом, запасованным в блок, установленный на передней стенке кузова, обеспечивают эффективную погрузку штучных и затаренных грузов. Благодаря самосвальному кузову снижается время на разгрузку. Наличие лебедки с канатом и упор кузова в опорную поверхность

позволяют подтягивать штучный или затаренный груз к автотрактору, что значительно расширяет функциональные возможности.

3.2. Механизм погрузки-разгрузки с навесной стрелой-фермой

Одним из недостатков рассмотренного выше схемного решения автотрактора (см. рис. 21) является непригодность к погрузке грузов на другие транспортные средства. Кроме того, осуществление операции погрузки за счет подтаскивания штучных и затаренных грузов требует больших затрат мощности на преодоление сил трения грузов по опорной поверхности, может приводить в ряде случаев к нежелательному загрязнению груза и тары, а также к снижению их сохранности.

С целью расширения функциональных возможностей автотрактора в режиме погрузочно-транспортного средства предложено гидроуправляемую, поворотную в вертикальной продольной плоскости грузовую платформу, выполненную в виде самосвального кузова с днищем, передней и боковыми стенками, установленного на остова шасси с возможностью упора в погрузочном положении в опорную поверхность автотрактора, снабдить механизмом погрузки-разгрузки со съемной стрелой-фермой, устанавливаемой на грузовую платформу путем жесткого прикрепления ее к боковым стенкам кузова, которые снабжаются в средней своей части дополнительными усиливающими накладками, см. патент РФ №2449902 на изобретение.

Предложенное схемное решение автотрактора поясняется рис. 22, на котором представлен вид сбоку на автотрактор в погрузочном положении при упоре самосвального кузова в опорную поверхность.

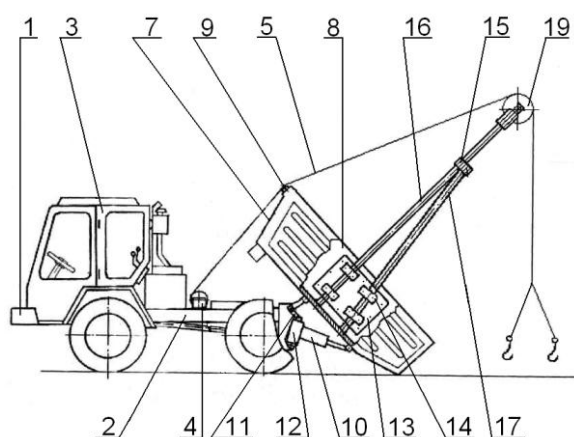


Рис. 22. Автотрактор со съемной стрелой-фермой

При погрузке штучных или затаренных грузов штоки гидроцилиндров 10 и 12 втянуты и самосвальный кузов 6 находится в погрузочном положении. Задняя кромка днища кузова упирается в опорную поверхность автотрактора, а само днище кузова получает определенный угол наклона ($50...55^\circ$) к указанной поверхности. При этом стрела-ферма 15 также наклоняется к опорной поверхности, обеспечивая вынос блока 19 за пределы продольного габарита

автотрактора. Канат 5 лебедки 4, запасованный последовательно в блоки 9 и 19, прикрепляется к погружаемому штучному или затаренному грузу (условно не показан). Включением привода лебедки осуществляется перемещение каната (намотка на барабан лебедки) и вертикальный подъем груза на заданную высоту. При последующем срабатывании гидроцилиндров 10 и 12 (при вытягивании их штоков) угол наклона днища кузова к опорной поверхности автотрактора уменьшается, задняя кромка днища кузова выходит из контакта с опорной поверхностью. Автотрактор получает возможность передвижения по опорной поверхности с грузом, подвешенным на стреле-ферме, и, маневрируя передачами переднего и заднего хода трансмиссии шасси 1, а также направлением вращения барабана лебедки, подает груз в заданную точку пространства, в том числе на другое транспортное средство: прицеп или грузовой автомобиль. После отцепа погруженного штучного или затаренного груза описанный цикл погрузки может быть неоднократно повторен. При необходимости может быть осуществлена также самозагрузка кузова автотрактора штучным или затаренным грузом, что обеспечивается при установке кузова в транспортное положение.

При грузовом и холостом ходе автотрактора штоки гидроцилиндров 10 и 12 вытянуты и самосвальнй кузов находится в транспортном положении, а стрела-ферма удерживает блок 19 над средней частью днища кузова.

Саморазгрузка автотрактора в режиме погрузочно-транспортного средства может быть осуществлена путем использования самосвальности кузова.

Экономический эффект достигается за счет роста производительности при перевозке штучных и затаренных грузов. Благодаря выполнению грузовой платформы в виде самосвального кузова с передней и боковыми стенками обеспечивается надежное удержание грузов на платформе при грузовом ходе и упрощается саморазгрузка транспортного средства. Наличие лебедки с канатом, блоков на передней стенке кузова и свободном конце фермы позволяют не только подтягивать штучный или затаренный груз к автотрактору, но и осуществлять погрузку на другое транспортное средство, что значительно расширяет функциональные возможности автотрактора в режиме погрузочно-транспортного средства. Прикрепление стоек и подкосов съемной фермы к боковым стенкам кузова значительно снижает реактивные усилия, воспринимаемые элементами крепления, что позволяет упростить их конструкцию и снизить трудоемкость монтажа и демонтажа съемной фермы, а усиливающие накладки в средней части боковых стенок кузова повышают надежность крепления фермы.

Для обоснования вылета съемной стрелы-фермы рассмотрена расчетная схема сил при подъеме груза, представленная на рис. 23. На затаренный груз действуют усилие троса $P_{тр}$ и сила тяжести Q .

Из условия равновесия малогабаритной погрузочно-транспортной машины под действием сил при равномерном движении по ровной горизонтальной опорной поверхности следует:

$$G_s \cdot a = Q \cdot b - k \cdot 2 \cdot R_{II} \cdot L, \quad (27)$$

где G_s – эксплуатационный вес машины, $G_s = 1945$ кгс; R_{II} – реакция почвы на управляемое колесо; a, b – плечи сил до точки опоры ведущего колеса на почву; L – продольная база автотрактора, $L = 1,85$ м; k – коэффициент запаса, $k = 1,0 \dots 1,6$.

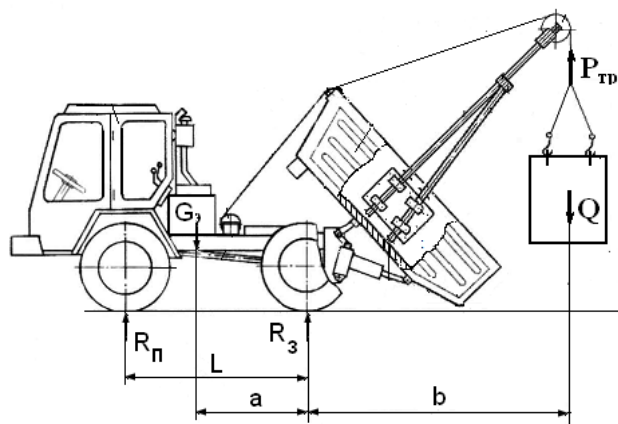


Рис. 23. Погрузка затаренного груза механизмом погрузки-разгрузки со съемной фермой

Для спроектированного автотрактора плечо a в зависимости от степени сброшенности кузова может меняться в определенных пределах. Предварительный анализ показал, что можно принять $a = 1,03 \dots 1,11$ м, где большее значение соответствует транспортному положению кузова.

Условием управляемости при движении малогабаритной погрузочно-транспортной машины является соотношение:

$$2 \cdot R_{II} > 0,15 \cdot G_s \quad (28)$$

Подставляя соотношение (28) в уравнение (27) и проводя преобразования, можно получить:

$$b_{\max} = G_s \cdot \left(a - k \cdot 0,15 \cdot L \right) / Q \quad (29)$$

После подстановки численных значений:

$$b_{\max} = 1945 \cdot \left(0,03 - k \cdot 0,278 \right) / Q \quad (30)$$

Результаты расчетов по формуле (30) представлены графически на рис. 24.

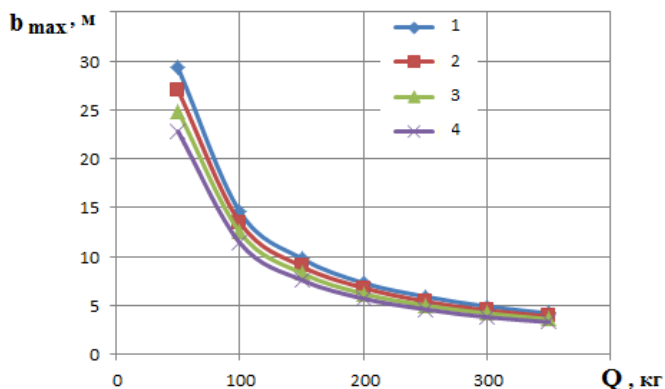


Рис. 24. Зависимость максимального вылета стрелы от массы затаренного груза:
 1 – $k = 1,0$; 2 – $k = 1,2$; 3 – $k = 1,4$; 4 – $k = 1,6$

Краткий вывод: для автотрактора при принятом вылете съемной стрелы-фермы, обеспечивающем погрузку затаренного груза в кузов транспортного средства (грузового автомобиля, тракторного прицепа), массу одновременно погружаемого груза можно принять не менее 200 кг.

Подбор сечений силовых элементов стрелы проведен по следующей методике.

Вертикальная нагрузка, воспринимаемая стрелой, определяется для случая транспортировки затаренных грузов. Сила тяжести затаренного груза при самопогрузке в кузов может быть принята в первом приближении с учетом установленной грузоподъемности Q_{zp} автотрактора:

$$Q = \xi \cdot Q_{zp}, \quad (31)$$

где $\xi = 0,3...1,0$ – коэффициент, зависящий от вида груза и конструкции тары.

Максимальное значение массы поднимаемого груза следует окончательно установить из условия равновесия автотрактора относительно задних ведущих колес в момент погрузки с учетом вылета блока 7, закрепленного на концевой поперечине, рис. 25:

$$G_s \cdot a = 1,4 \cdot Q \cdot b, \quad (32)$$

где G_s – эксплуатационный вес технологического агрегата; 1,4 – нормативный коэффициент запаса устойчивости; a, b – плечи сил G_s и Q относительно точки контакта ведущего колеса с грунтом.

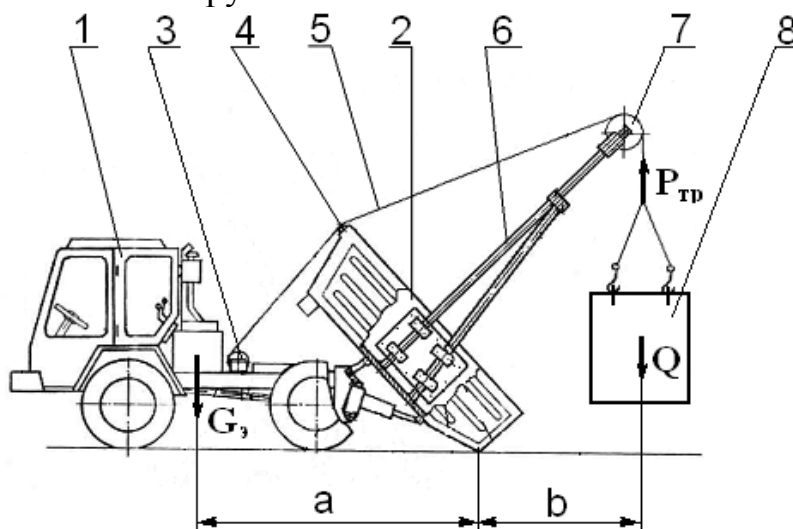


Рис. 25. Подъем затаренного груза механизмом погрузки-разгрузки со съемной стрелой-фермой:

- 1 – автотрактор; 2 – самосвальный кузов; 3 – лебедка с приводом;
- 4 – блок на передней стенке кузова; 5 – канат; 6 – съемная стрела-ферма;
- 7 – блок; 8 – затаренный груз

Результаты расчетов, представленные графически на рис.26, показывают, что максимальное из условия устойчивости автотрактора (т.е. при реакции R_{II} на передних колесах отличной от нуля) значение силы тяжести затаренного груза составляет $Q_{max} = 5,1$ кН.

С учетом коэффициента динамичности, примерно равного 1,4, можно принять, что максимальная вертикальная нагрузка на стреле составляет

$$P_{\text{верт}} = 1,4 \cdot Q_{\text{max}} = 1,4 \cdot 5,1 = 7,2 \text{ кН.} \quad (33)$$

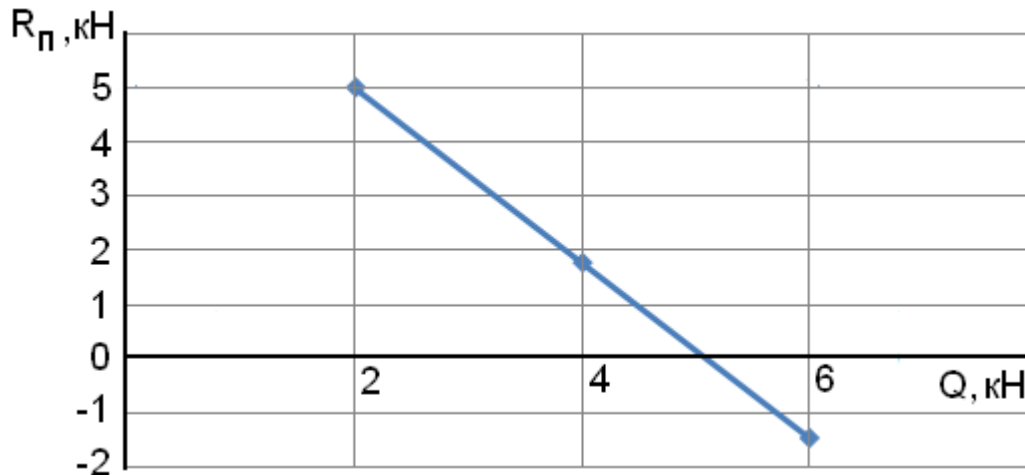


Рис. 26. График зависимости реакции $R_{п}$ на передних колесах от веса Q поднимаемого груза

Раскладываем силу $P_{\text{верт}}$ на два усилия: P_1 , действующее в плоскости стрелы, и P_2 – перпендикулярное плоскости стрелы.

$$P_1 = P_{\text{верт}} \cdot \sin \alpha = 7,2 \cdot \sin 55^\circ = 5,9 \text{ кН} = 5900 \text{ Н,} \quad (34)$$

$$P_2 = P_{\text{верт}} \cdot \cos \alpha = 7,2 \cdot \cos 55^\circ = 4,13 \text{ кН} = 4130 \text{ Н,} \quad (35)$$

где α – угол наклона плоскости стрелы к горизонту.

Характер нагруженности силовых элементов стрелы (стоек) изгибающими моментами в плоскости стрелы представлен на рис. 27, а от действия силы P_2 (без учета влияния раскосов) – на рис. 28. На рис. 29 представлены эпюры изгибающих моментов в сечениях поперечины стрелы.

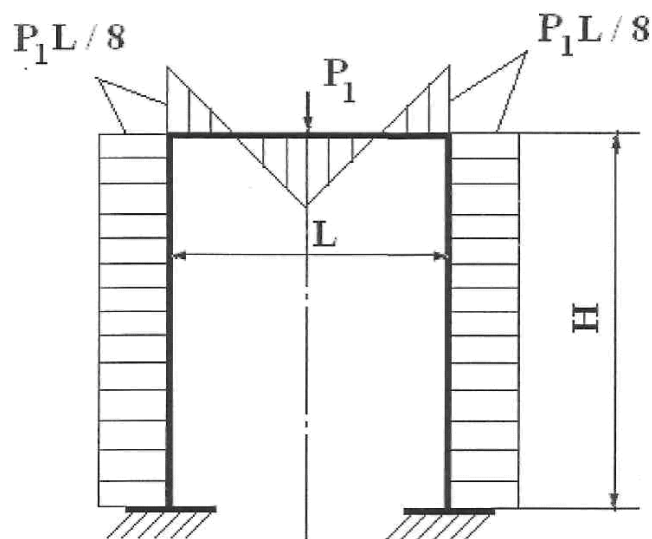


Рис. 27. Эпюры изгибающих моментов в плоскости стрелы

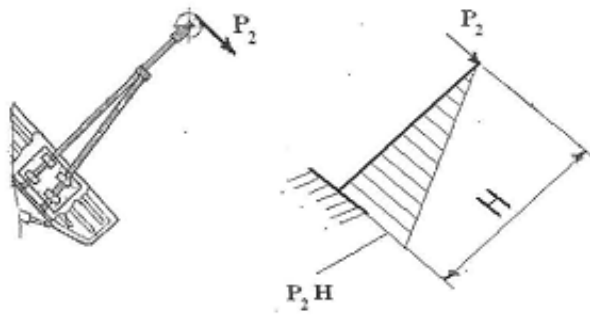


Рис. 28. Эпюра изгибающего момента от действия силы P_2

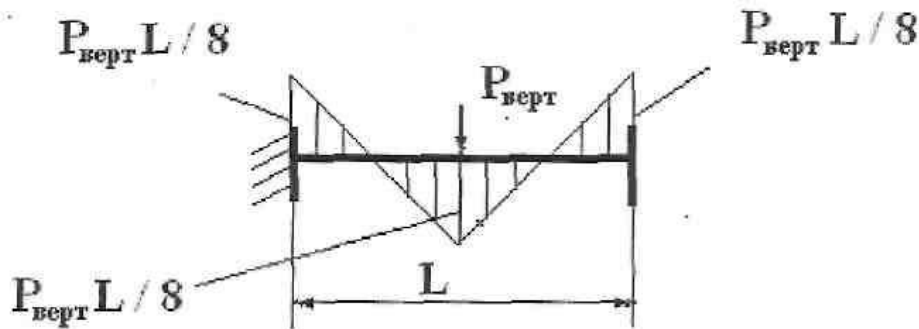


Рис. 29. Эпюры изгибающих моментов в сечениях поперечины стрелы

Максимальное численное значение изгибающих моментов в опасных сечениях стоек стрелы составляет:

$$M_{и1ст} = P_1 \cdot L / 8 = 5900 \cdot 1,6 / 8 = 1180 \text{ Н}\cdot\text{м} = 11800 \text{ кгс}\cdot\text{см};$$

$$M_{и2ст} = P_2 \cdot H = 4130 \cdot 2,8 = 11560 \text{ Н}\cdot\text{м} = 115600 \text{ кгс}\cdot\text{см};$$

$$M_{ист} = (M_{и1ст}^2 + M_{и2ст}^2)^{0,5} = (11800^2 + 115600^2)^{0,5} = 116200 \text{ кгс}\cdot\text{см}.$$

Максимальное численное значение изгибающих моментов в опасных сечениях поперечины стрелы составляет:

$$M_{и попереч} = P_{верт} \cdot L / 8 = 7200 \cdot 1,6 / 8 = 1440 \text{ Н}\cdot\text{м} = 14400 \text{ кгс}\cdot\text{см}.$$

Подбор сечений стоек стрелы может быть проведен из условия статической прочности:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{2 \cdot W_u} \leq \sigma_{T_u} \quad (36)$$

где M_u – изгибающий момент; W_u – момент сопротивления изгибу сечения стойки стрелы; σ_{T_u} – допускаемое напряжение при изгибе; 2 – коэффициент, учитывающий конструктивную схему стрелы.

Допускаемое напряжение при изгибе определяется по формуле:

$$\sigma_{T_u} = \sigma_T / n_T \quad (37)$$

Допускаемый запас прочности определяется дифференциальным методом по формуле (11).

Принимая $n_1 = 1,5$, $n_2 = 1,2$, $n_3 = 1,5$, получим

$$n_T = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 2,7.$$

В качестве материала стрелы можно принять различные стали: 09Г2, 10ХСНД и др.

Недостатком предложенной конструкции автотрактора с навесной стрелой-фермой является увеличенный габарит по высоте при транспортном положении кузова, что ограничивает функциональные возможности автотрактора, снижая, например, проходимость при проезде под линиями электропередач.

В РИИ АлтГТУ предложено расширить функциональные возможности автотрактора в режиме погрузочно-транспортного средства путем выполнения съемной стрелы-фермы с возможностью установки в транспортное и погрузочное положения за счет того, что каждая стойка съемной стрелы-фермы содержит две части – верхнюю поворотную и нижнюю неподвижную – соединенные друг с другом при помощи шарнира, ось которого перпендикулярна вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось симметрии автотрактора, и снабжается устройством фиксации в виде стержня, установленного своими крючкообразно загнутыми концами в кольцах, размещенных на поворотной и неподвижной частях стойки на тех их сторонах, которые обращены к кабине шасси, при этом шарнир оборудуется механизмом блокировки в виде проушин, установленных на поворотной части стойки и на подкосе, и цилиндрического пальца, один конец которого снабжен шляпкой, а другой – отверстием для установки шплинта.

Схемное решение предложенной конструкции автотрактора с шарнирной стрелой-фермой (патент РФ №2537047) поясняется чертежами на рис. 30.

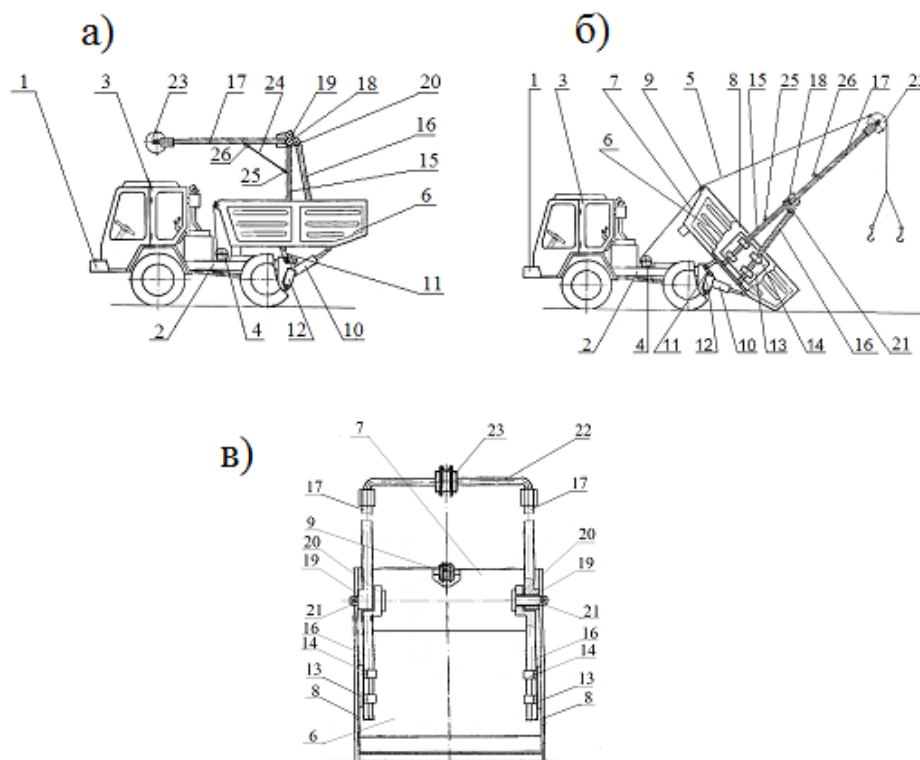


Рис. 30. Автотрактор с шарнирной стрелой-фермой:

а – вид сбоку на автотрактор с самосвальным кузовом в транспортном положении; б – вид сбоку на автотрактор в погрузочном положении при упоре самосвального кузова в опорную поверхность; в – вид сзади на автотрактор

Перед выполнением погрузки штучных или затаренных грузов съемная стрела-ферма устанавливается из транспортного в погрузочное положение. Сначала снимается стержень 24, для чего его загнутые концы выводятся из колец 25 и 26. После этого, вращая в шарнирах 18 верхние поворотные части 17 стоек, совмещают геометрические центры проушин 19 и 20, устанавливают в проушины цилиндрические пальцы 21, которые затем шплинтуют. Канат 5 лебедки 4 запасовывают последовательно в блоки 9 и 23.

При погрузке штучных или затаренных грузов штоки гидроцилиндров 10 и 12 втянуты и самосвальная кузов 6 находится в погрузочном положении. Задняя кромка днища кузова упирается в опорную поверхность автотрактора, а само днище кузова получает определенный угол наклона ($50...55^\circ$) к указанной поверхности. При этом съемная ферма также наклоняется к опорной поверхности, обеспечивая вынос блока 23 за пределы продольного габарита автотрактора. Канат лебедки, запасованный последовательно в блоки 9 и 23, прикрепляется к погружаемому штучному или затаренному грузу (условно не показан). Включением привода лебедки осуществляется перемещение каната (намотка на барабан лебедки) и вертикальный подъем груза на заданную высоту. При последующем срабатывании гидроцилиндров 10 и 12 (при вытягивании их штоков) угол наклона днища кузова к опорной поверхности автотрактора уменьшается, задняя кромка днища кузова выходит из контакта с опорной поверхностью. Автотрактор получает возможность передвижения по опорной поверхности с грузом, подвешенным на съемной ферме, и, маневрируя передачами переднего и заднего хода трансмиссии шасси 1, а также направлением вращения барабана лебедки, подает груз в заданную точку пространства, в том числе на другое транспортное средство: прицеп или грузовой автомобиль. После отцепа погруженного штучного или затаренного груза описанный цикл погрузки может быть неоднократно повторен. При необходимости может быть осуществлена также самозагрузка кузова автотрактора штучным или затаренным грузом, что обеспечивается при установке кузова в транспортное положение.

Перед выполнением грузового и холостого ходов съемная ферма устанавливается из погрузочного в транспортное положение. Для этого сначала расшплинтовывают цилиндрические пальцы 21 и выводят их из проушин 19 и 20. Затем вращают в шарнирах 18 верхние поворотные части 17 стоек в сторону кабины 3 и устанавливают стержни 24, для чего их загнутые концы вводятся в кольца 25 и 26. Канат лебедки запасовывают в блок 9 и конец каната размещают на днище самосвальной кузова.

При грузовом и холостом ходах автотрактора в режиме погрузочно-транспортного средства штоки гидроцилиндров 10 и 12 втянуты и самосвальная кузов находится в транспортном положении, а съемная ферма удерживает блок 23 над кабиной шасси, что значительно снижает габарит по высоте.

Саморазгрузка автотрактора в режиме погрузочно-транспортного средства может быть осуществлена путем использования самосвальности кузова.

Экономический эффект достигается за счет роста производительности при

перевозке штучных и затаренных грузов. Благодаря выполнению грузовой платформы в виде самосвального кузова с передней и боковыми стенками обеспечивается надежное удержание грузов на платформе при грузовом ходе и упрощается саморазгрузка. Наличие лебедки с канатом, блоков на передней стенке кузова и свободном конце съемной фермы позволяют не только подтягивать штучный или затаренный груз к автотрактору, но и осуществлять погрузку на другое транспортное средство. Выполнение съемной фермы с возможностью установки в транспортное и погрузочное положения обеспечивает, в первом случае, достаточный вылет блока на свободном конце фермы за пределы продольного габарита автотрактора, а во втором – уменьшенный габарит по высоте, что значительно расширяет функциональные возможности.

В КФХ и ЛПХ ежегодно производится транспортировка различных насыпных и навалочных грузов (кормов, овощей, картофеля, зерна, минеральных удобрений и т.п.), которые затариваются в мягкую тару – стандартные мешки грузоемкостью до 50 кг. Погрузка стандартных мешков на транспортные средства (грузовые автомобили, тракторные прицепы) производится, как правило, вручную, так как мешки слабо приспособлены к механизированной погрузке из-за отсутствия специальных грузовых элементов: петель, стропов и т.п. Кроме того, необходимость завязывания горловины с целью исключения потерь насыпного груза снижает полезный объем мешка.

С целью повышения производительности при погрузочно-транспортных работах с применением автотрактора, снабженного механизмом погрузки-разгрузки со съемной фермой (патент РФ №2449902 на изобретение), авторами разработана конструкция новой мягкой тары – мешка, приспособленного к механизированной погрузке-разгрузке, патент РФ №134156 на полезную модель. Разработанная конструкция мешка показана на рис. 31.

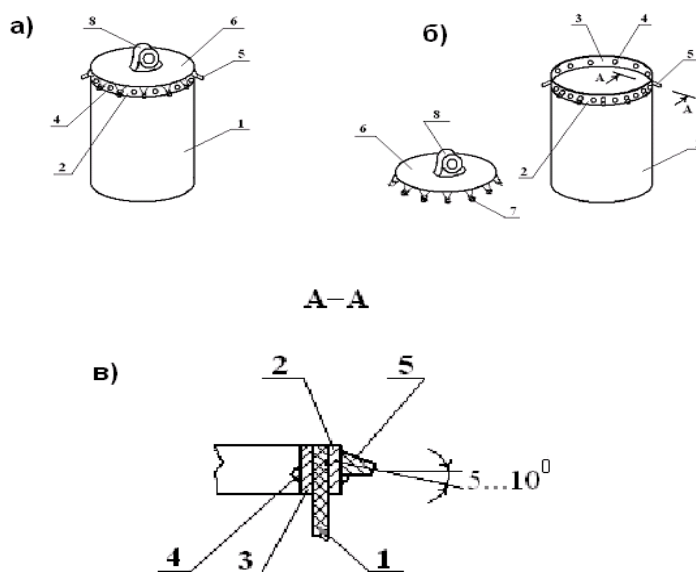


Рис. 31. Мешок предложенной конструкции:

а – вид сбоку на мешок с установленной дополнительной крышкой; б – вид сбоку на мешок со снятой дополнительной крышкой; в – сечение А-А

Мешок используется при погрузке и транспортировке насыпных или навалочных грузов следующим образом.

Перед загрузкой мешка насыпными или навалочными грузами корпус мешка устанавливается дном грузонесущей оболочки 1 на опорное основание, дополнительная крышка 6 снимается. После заполнения мешка грузом дополнительная крышка устанавливается на корпус мешка, при этом каждое кольцо 7 надевается на соответствующий штырь 5 обечайки. Крюком погрузочного средства на базе автотрактора осуществляется зацеп за петлю 8. Намоткой каната на барабан лебедки производится подъем зацепленного мешка с грузом, а маневрированием автотрактора на передачах переднего и заднего хода осуществляется подача мешка с грузом в кузов транспортного средства. После установки мешка в кузове крюк погрузочного средства отцепляется от петли, и погрузочное средство используется для погрузки следующего мешка. Разгрузка транспортного средства в пункте назначения производится в обратном порядке. При необходимости освобождения мешка от находящегося в нем груза кольца снимаются со штырей обечайки и дополнительная крышка снимается, наклоном корпуса мешка производится опорожнение мешка.

Использование дополнительной крышки исключает потери насыпного груза, способствует повышению полезного объема мешка на 10...15%. Выполнение штырей в виде усеченного конуса, ось симметрии которого отклонена вниз от горизонтали на угол 5...10°, обеспечивает надежную фиксацию колец на штырях обечайки. Наличие грузового элемента в виде петли на дополнительной крышке повышает приспособленность мешка к механизированной погрузке и разгрузке, что способствует повышению производительности при погрузочно-транспортных работах.

Диаметр D окружности поперечного сечения грузонесущей оболочки мешка предложенной конструкции можно найти из выражения для грузоподъемности q мешка. Принимая мешок в виде полого цилиндра с наружным диаметром D и высотой h_m , получим:

$$q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_m \cdot \gamma, \quad (38)$$

где γ – плотность насыпного груза, для свежевыкопанного картофеля (лука) можно принять $\gamma = 700 \text{ кг/м}^3$.

Из формулы (38) следует

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot h_m \cdot \gamma}}. \quad (39)$$

Подставляя данные в формулу (39), получим

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 50}{3,14 \cdot 0,7 \cdot 700}} = 0,36 \text{ м.}$$

Окончательно принимаем $D = 0,4 \text{ м}$.

3.3. Механизм для контейнерной погрузки-разгрузки

Рассмотренное выше схемное решение автотрактора, снабженного механизмом погрузки-разгрузки со съемной фермой, имеет недостатки, так как операция погрузки осуществляется за счет подтягивания штучных и затаренных грузов к сброшенному самосвальному кузову, затаскивания грузов в кузов и последующего подъема кузова с грузом, что требует больших затрат мощности и, следовательно, снижает производительность.

Повышение производительности автотрактора в режиме погрузочно-транспортного средства может быть достигнуто путем приспособления автотрактора к погрузке грузов, затаренных в контейнеры, при транспортном положении самосвального кузова.

Предлагается самосвальный кузов автотрактора снабдить поворотными в вертикальной продольной плоскости рычагами, установленными в задней части кузова на его боковых стенках при помощи шарниров, при этом к средней части рычагов прикрепить канат лебедки, а между концами рычагов смонтировать поперечную траверсу, на которой установить подвеску с контейнером.

На рис. 32 изображен автотрактор с предлагаемым механизмом для контейнерной погрузки-разгрузки по патенту РФ №111071 на полезную модель, где сплошной линией показано положение в начале погрузки контейнера, а штрихпунктирной линией – положение в конце погрузки.

Автотрактор в режиме погрузочно-транспортного средства работает следующим образом.

При транспортировке грузов можно выделить несколько операций технологического цикла работы: погрузка, грузовой ход, разгрузка и холостой ход.

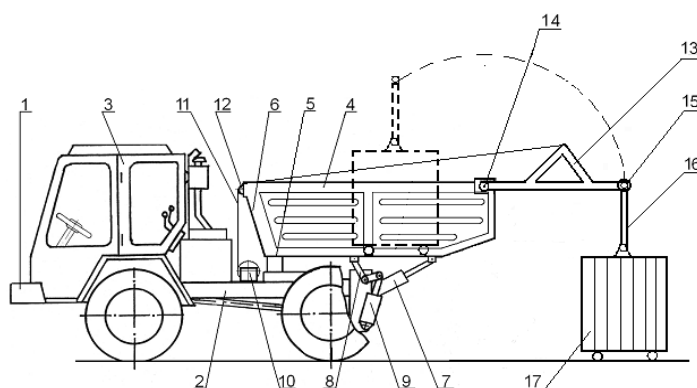


Рис. 32. Автотрактор, оснащенный механизмом для контейнерной погрузки-разгрузки

При погрузке грузов, затаренных в контейнер 17, штоки гидроцилиндров 7 и 9 вытянуты и самосвальный кузов 4 находится в транспортном положении. Привод лебедки 10 растормаживается, и канат 11 получает возможность разматываться с барабана лебедки. Рычаги 13 вручную приводятся в крайнее горизонтальное положение, к подвеске 16 прикрепляется контейнер.

Включением привода лебедки осуществляется перемещение каната (намотка на барабан лебедки) и принудительный поворот рычагов в вертикальной продольной плоскости вокруг шарниров 14. При этом траверса 15 перемещается по дуге окружности, обеспечивая соответствующий подъем подвески с контейнером. После установки контейнера на днище 5 кузова привод лебедки отключается. Автотрактор готов к совершению грузового хода.

При грузовом ходе автотрактора штоки гидроцилиндров 7 и 9 вытянуты и самосвальный кузов находится в транспортном положении. Контейнер опирается на днище кузова и удерживается от опрокидывания благодаря связи с подвеской, установленной на поперечной траверсе.

При разгрузке автотрактора контейнер отсоединяется от подвески, штоки гидроцилиндров 7 и 9 втягиваются, самосвальный кузов поворачивается в вертикальной продольной плоскости и его днище получает наклон к опорной поверхности автотрактора. Контейнер под действием гравитационных сил перемещается вниз к опорной поверхности. Затем автотрактор перемещают вперед и выезжают из-под контейнера. Переводом кузова в транспортное положение за счет вытягивания штоков гидроцилиндров 7 и 9 автотрактор подготавливается к совершению холостого хода (движению от места разгрузки к месту загрузки).

После совершения холостого хода цикл повторяется.

Экономический эффект достигается за счет роста производительности при перевозке грузов, затаренных в контейнеры. Наличие поворотных в вертикальной продольной плоскости рычагов, установленных шарнирно в задней части кузова на его боковых стенках и приводимых в движение тросом лебедки, позволяет осуществлять операцию погрузки при транспортном положении самосвального кузова, что снижает затраты мощности, а благодаря самосвальному кузову снижается время на разгрузку автотрактора в режиме погрузочно-транспортного средства.

3.4. Механизм кассетной погрузки-разгрузки молочных фляг

КФХ при производстве молока активно используют летние пастбища, зачастую находящиеся на значительном расстоянии (10...15 км) от центральной усадьбы. Проблема доставки продукции с летнего пастбища решается за счет привлечения как гужевого, так и грузового автотранспорта.

Анализ показал, что при малотоннажных перевозках целесообразно использование МГА на базе двухосного автотрактора ЭМ-0,6, разработанного в РИИ АлтГТУ и оснащенного самосвальным кузовом аппаратного типа и тяговой лебедкой.

При доставке продукции с летнего пастбища можно механизировать операции погрузки и разгрузки затаренного молока путем применения дополнительной кассеты-тележки, приспособленной для размещения и закрепления фляг. Привод кассеты-тележки обеспечивается канатом лебедки МГА. Для снижения затрат мощности на перемещение кассета-тележка снабжена многоосным колесным ходом.

Фазы погрузки затаренного молока в кузов МГА и его транспортировки представлены на рис. 33.

Погрузка затаренного молока на летнем пастбище происходит следующим образом. МГА опускает кузов 4 до упора в грунт. Канат 11 лебедки 10 присоединяется к передней стенке кассеты-тележки 13, в которой предварительно установлены фляги с молоком. Намоткой каната на барабан лебедки осуществляется подтягивание кассеты-тележки к кузову и последующее затаскивание ее в кузов. После затаскивания кассеты-тележки в кузов при помощи гидроцилиндров 7 и 9 кузов устанавливается в транспортное положение. Барабан лебедки затормаживается, МГА готов к совершению грузового хода.

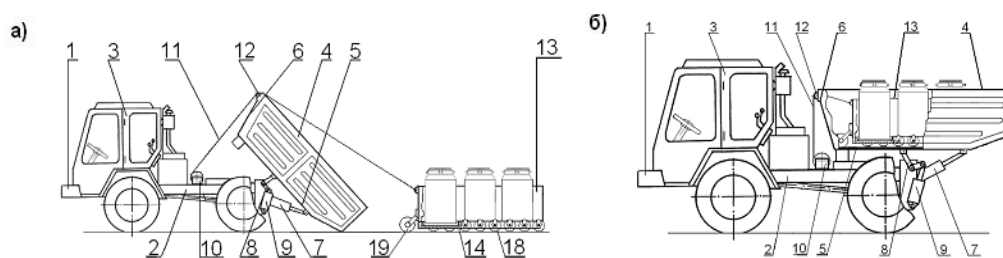


Рис. 33. Использование МГА на вывозке затаренного молока:
а – погрузка; б – транспортировка

Приемлемость предложенных конструктивных решений может быть подтверждена анализом производительности.

Производительность МГА (т/ч) при вывозке с летнего пастбища молока, затаренного во фляги, определяется зависимостью:

$$П = 0,1 \cdot k \cdot Q / T_{\text{ц}}, \quad (40)$$

где k – коэффициент использования грузоподъемности; $T_{\text{ц}}$ – время цикла;

Q – номинальная грузоподъемность.

Коэффициент k учитывает полезный груз и массу тары и может быть принят равным $k = 0,2..0,4$.

Время цикла включает затраты времени на погрузку $t_{\text{п}}$, грузовой ход $t_{\text{грх}}$, разгрузку $t_{\text{разгр}}$ и холостой ход $t_{\text{хх}}$:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{п}} + t_{\text{грх}} + t_{\text{разгр}} + t_{\text{хх}}. \quad (41)$$

При погрузке фляг вручную затраты времени $t_{\text{п}}$ составляют:

$$t_{\text{п}} = k \cdot Q / q, \quad (42)$$

где q – темп погрузки, по опытным данным можно принять $q = 120 \text{ кН/ч}$.

Затраты времени на грузовой ход $t_{\text{грх}}$ и холостой ход $t_{\text{хх}}$ могут быть рассчитаны по формулам:

$$t_{\text{грх}} = L \cdot (0,01 \cdot m_{\text{э}} + k \cdot Q) \cdot f / (3,6 \cdot N_{\text{е}} \cdot \eta), \quad (43)$$

$$t_{xx} = 0,0028 \cdot L \cdot m_{\text{э}} \cdot f / (N_e \cdot \eta), \quad (44)$$

где L – расстояние транспортировки; f – коэффициент сопротивления качению, η – КПД трансмиссии МГА.

Затраты времени при разгрузке фляг вручную могут быть приняты примерно равными времени погрузки:

$$t_{\text{разгр}} = t_{\text{П}}. \quad (45)$$

Результаты расчетов по формулам (40) ... (45) при $k=0,37$, $L=12$ км, $\eta=0,85$ и $f=0,07...0,1$ сведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели МГА на вывозке молока при ручной погрузке-разгрузке							
Параметр	$t_{\text{П}}, \text{ч}$	$t_{\text{грх}}, \text{ч}$	$t_{\text{разгр}}, \text{ч}$	$t_{\text{xx}}, \text{ч}$	$T_{\text{ц}}, \text{ч}$	$\Pi, \text{т/ч}$	$T_{\text{р}}, \text{чел.-ч/т}$
$f = 0,07$	0,032	0,305	0,032	0,256	0,626	0,621	1,611
$f = 0,1$	0,032	0,436	0,032	0,366	0,867	0,448	2,231

Производительность МГА (т/ч) при механизированной погрузке-выгрузке молока, затаренного во фляги, может быть рассчитана по приведенным выше формулам с учетом необходимых уточнений ряда параметров. Так, для данного случая коэффициент $k=0,42$, темп погрузки достигает значения $q=960$ кН/ч.

Результаты расчетов по формулам (40)...(45) при использовании механизированной погрузки-выгрузки молока сведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели МГА на вывозке молока при механизированной погрузке-разгрузке							
Параметр	$t_{\text{П}}, \text{ч}$	$t_{\text{грх}}, \text{ч}$	$t_{\text{разгр}}, \text{ч}$	$t_{\text{xx}}, \text{ч}$	$T_{\text{ц}}, \text{ч}$	$\Pi, \text{т/ч}$	$T_{\text{р}}, \text{чел.-ч/т}$
$f = 0,07$	0,005	0,312	0,005	0,256	0,577	0,764	1,309
$f = 0,1$	0,005	0,446	0,005	0,366	0,821	0,537	1,861

Из сравнения данных табл. 1 и 2 следует, что механизация операций “погрузка” и “выгрузка” позволяет повысить примерно в 1,2 раза производительность МГА на вывозке молока и соответственно снизить затраты ручного труда.

3.5. Самосвальный кузов с механизмом порционной разгрузки

Исследования, проведенные в РИИ АлтГТУ, показали, что существует возможность создания на базе малогабаритного автотрактора транспортно-технологической машины для поверхностного внесения органических удобрений. Автотрактор в комплектации МГА, обладая самосвальностью, позволяет разгружать органические удобрения на поле в виде куч, а, используя

его конструктивные особенности в виде упора кузова в опорную поверхность транспортного средства, можно при движении МГА задним ходом распределять по полю удобрения из куч сброшенным кузовом, как бульдозером. Недостатком такого способа внесения удобрений является низкая производительность, так как при самосвальной разгрузке удобрений на почве образуются кучи большого объема, что требует от МГА, в связи с малым уровнем мощности двигателя, многократного повторения бульдозирования удобрений сброшенным кузовом. Для повышения производительности предложено уменьшить вдвое объемы куч удобрений за счет порционной разгрузки МГА [36].

Для реализации порционной разгрузки самосвальный кузов МГА снабжается поворотной в вертикальной продольной плоскости перегородкой, установленной шарнирно в средней части кузова, при этом к верхней части перегородки прикреплен трос лебедки, на боковых стенках кузова смонтированы упоры для перегородки и защелки, снабженные гидроприводом, а рабочая поверхность днища кузова выполнена ступенчатой. Перегородка, находясь в вертикальном положении, делит самосвальный кузов на два отсека.

Основные операции технологического цикла работы МГА при внесении органических удобрений представлены на рис. 34.

При погрузке органических удобрений штоки гидроцилиндров 7 и 9 вытянуты и самосвальный кузов 4 находится в транспортном положении. Перегородка 13, взаимодействуя с упорами 15, зафиксирована в вертикальном положении при помощи защелок 16. Погрузка органических удобрений производится механизированно или подручными средствами в два отсека кузова: в первый отсек – между передней стенкой кузова и перегородкой, во второй отсек – между перегородкой и задней кромкой днища 5.

После окончания погрузки органических удобрений совершается грузовой ход МГА на поле.

Разгрузка органических удобрений на поле производится порционно, в два приема: сначала из второго отсека кузова, затем из первого отсека. При этом привод лебедки 10 расторможен, канат 11 получает возможность разматываться с барабана лебедки. Штоки гидроцилиндров 7 и 9 втягиваются, самосвальный кузов поворачивается в вертикальной продольной плоскости, и его днище получает наклон к опорной поверхности автотрактора. Органические удобрения из второго отсека кузова под действием гравитационных сил перемещаются вниз к опорной поверхности. Затем МГА перемещают вперед и выезжают из-под образовавшейся на почве кучи органических удобрений. Втягиванием штоков гидроцилиндров 17 обеспечивается разфиксирование перегородки защелками. Под напором органических удобрений перегородка поворачивается в вертикальной продольной плоскости вокруг шарнира 14 до упора в нижнюю плоскость рабочей поверхности днища кузова и удобрения из первого отсека кузова под действием гравитационных сил перемещаются вниз к опорной поверхности.

Высота ступеньки между верхней и нижней плоскостями рабочей поверхности днища выбрана так, чтобы перегородка 13, повернувшись в крайнее горизонтальное положение, не создавала препятствий перемещению удобрений

из первого отсека кузова. После разгрузки первого отсека кузова МГА вновь перемещают вперед и выезжают из-под образовавшейся на почве кучи органических удобрений. Последовательная разгрузка отсеков кузова позволяет разделить выгружаемые органические удобрения на две порции, равные примерно половине общей рейсовой нагрузки.

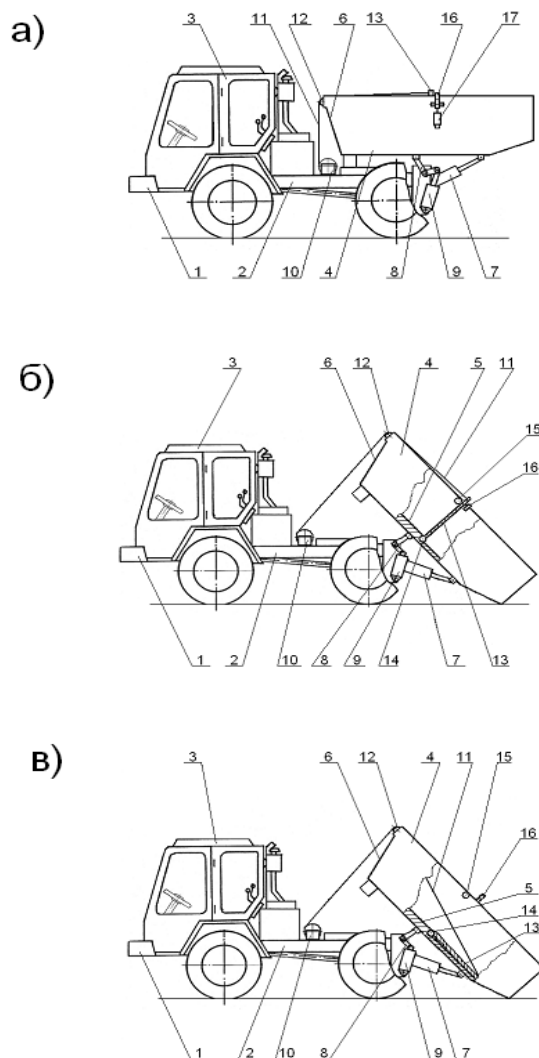


Рис. 34. МГА с предложенным механизмом порционной разгрузки самосвального кузова при внесении удобрений:

а – при погрузке и транспортировке удобрений; б – при разгрузке удобрений из второго отсека кузова; в – при разгрузке удобрений из первого отсека кузова

Включением передачи заднего хода осуществляют бульдозирование куч органических удобрений сброшенным кузовом МГА. Толщина слоя распределяемых по полю органических удобрений регулируется положением кузова по высоте над почвой за счет срабатывания гидроцилиндров 7 и 9: втягиванием или вытягиванием их штоков на требуемую величину.

Переводом кузова в транспортное положение при вытягивании штоков гидроцилиндров 7 и 9 производится подготовка МГА к совершению холостого хода (движению от места разгрузки удобрений на поле к месту их погрузки). При этом привод лебедки включается на намотку каната на барабан лебедки.

При намотке канат увлекает за собой перегородку, которая поворачивается в вертикальной продольной плоскости вокруг шарнира 14 до взаимодействия с упорами 15. Штоки гидроцилиндров 17 вытягиваются, и защелки фиксируют перегородку в вертикальном положении.

После совершения холостого хода цикл предложенной транспортно-технологической машины повторяется.

Экономический эффект достигается за счет роста производительности при внесении органических удобрений. Наличие поворотной в вертикальной продольной плоскости перегородки, установленной шарнирно в средней части кузова, приводимой в движение из горизонтального положения в вертикальное тросом лебедки и фиксируемой в вертикальном положении гидроуправляемыми защелками, позволяет осуществлять операцию разгрузки при сброшенном положении самосвального кузова порционно, создавая на почве кучи органических удобрений уменьшенного объема, что снижает затраты мощности и времени на последующее распределение по полю органических удобрений путем бульдозирования самосвальным кузовом при заднем ходе транспортного средства. Предложенное схемное решение транспортно-технологической машины, защищенное патентом РФ №2469883 на изобретение, исключает необходимость в специальной дорогостоящей технике для внесения органических удобрений, что актуально для экономически слабых КФХ и ЛПХ.

Результаты расчета трудозатрат (чел.-ч./га) и расхода топлива (кг/га) в зависимости от нормы внесения органических удобрений (т/га) представлены на рис. 35. При расчете в качестве исходных принимались следующие данные: среднее плечо транспортировки удобрений – 5 км, скорости движения МГА при грузовом ходе – 25 км/ч, при холостом ходе – 50 км/ч, темп ручной погрузки удобрений – 12 т/ч.

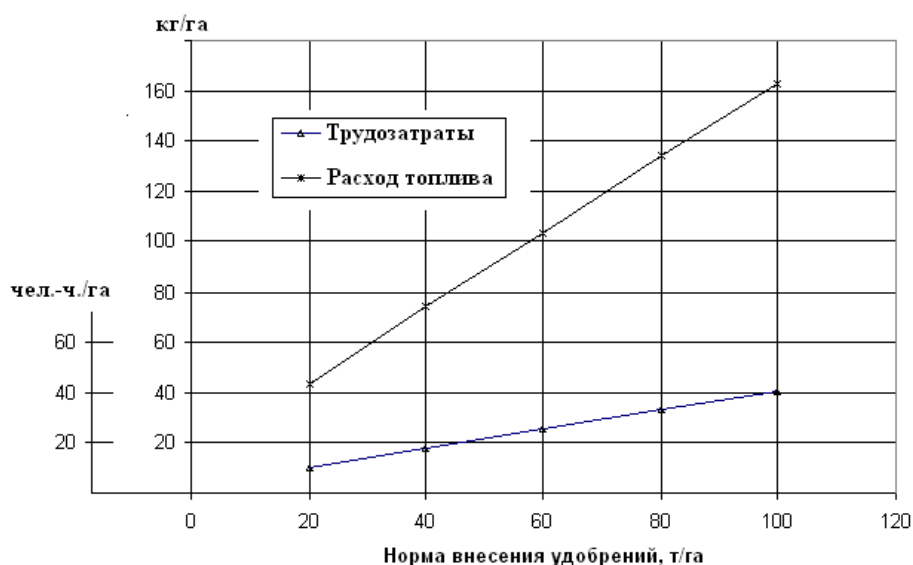


Рис. 35. Эксплуатационные характеристики МГА при внесении удобрений

В [40] проведен теоретический анализ режимов работы машины. Особенностью рассматриваемой машины является реализация при движении

задним ходом значительных тяговых усилий, необходимых для бульдозирования куч органических удобрений опущенным самосвальным кузовом, рис. 36.

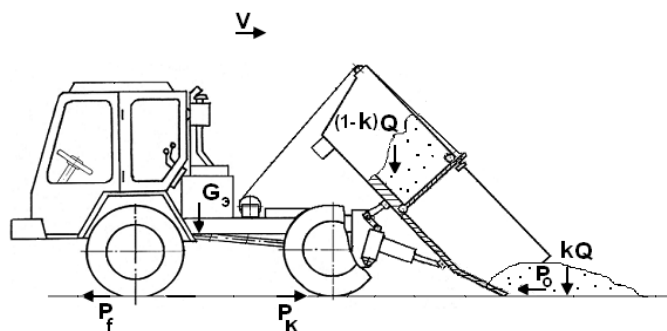


Рис. 36. Схема к расчету тягового баланса автотрактора при заднем ходе

Из уравнения тягового баланса автотрактора при заднем ходе с постоянной скоростью V по горизонтальному участку опорной поверхности можно получить выражение для касательной силы тяги P_k на ведущих колесах:

$$P_k = P_f + P_o, \quad (46)$$

где P_f – сила сопротивления качению автотрактора; P_o – сила отпора бульдозерируемой кучи удобрений (сила сопротивления относительно перемещению слоев удобрений).

Выражения для P_f и P_o имеют вид:

$$P_f = f[G_3 + (1-k)Q], \quad (47)$$

$$P_o = f_{mp}kQ, \quad (48)$$

где f – коэффициент сопротивления качению автотрактора; G_3 – эксплуатационный вес машины, Q – рейсовая нагрузка (вес удобрений, транспортируемых за один рабочий ход); k – коэффициент порционности разгрузки ($k = 0,3 \dots 1,0$); f_{mp} – коэффициент трения относительно перемещению слоев удобрений.

После подстановки (47) и (48) в формулу (46) следует

$$P_k = f[G_3 + (1-k)Q] + f_{mp}kQ. \quad (49)$$

Для расчетов по формуле (49) можно принять: $f = 0,2$; $f_{mp} = 0,4$.

Затраты мощности двигателя при заднем ходе автотрактора со скоростью V составляют:

$$N_{об} = (P_k \cdot V) / \eta, \quad (50)$$

где η – КПД, учитывающий потери в силовой передаче.

На рис. 37 представлены результаты расчетов потребной мощности $N_{об}$ при номинальной рейсовой нагрузке $Q = 10$ кН и различных значениях коэффициента порционности разгрузки k . Значения скоростей V (0,87 и 1,75

м/с) приняты по технической характеристике автотрактора ЭМ-0,6, имеющего две передачи заднего хода.

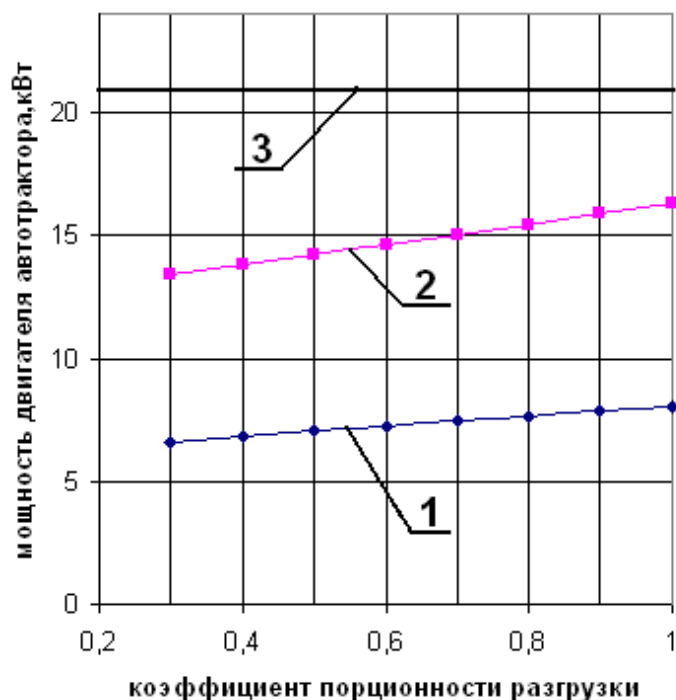


Рис. 37. Зависимости мощности двигателя от принятого способа разгрузки кузова:

1 – $N_{дв}$ при $V = 0,87$ м/с; 2 – $N_{дв}$ при $V = 1,75$ м/с; 3 – принятая $N_{дв}$

Очевидно, что при любом способе порционной разгрузки кузова бульдозирование куч вносимых органических удобрений обеспечивается принятой мощностью двигателя автотрактора.

Следует отметить потенциальные возможности рассмотренного технического решения, в частности, применительно к задачам, решаемым в животноводстве: МГА, оснащенный самосвальным кузовом с механизмом порционной разгрузки, может быть использован на раздаче кормов животным при их стойловом содержании.

3.6. Малогабаритный трелевочный трактор

Анализ показал, что КФХ лесостепных зон Алтайского края и других регионов Российской Федерации сталкиваются с необходимостью выполнения транспортировки стволовой древесины, идущей на строительные, топливные и другие цели. Для транспортировки (трелевки) хлыстов и деревьев в РИИ АлтГТУ предложен МТТ, оснащенный погрузочным щитом и тяговой лебедкой, рис. 38. По документации, разработанной в РИИ АлтГТУ, был изготовлен опытный образец МТТ, полевые и лабораторные испытания которого позволили уточнить некоторые параметры предложенной конструкции.



Рис. 38. Автотрактор на функциональных испытаниях в комплектации МТТ

Номинальная рейсовая нагрузка МТТ определяется с учетом способа трелевки древесины по формуле:

$$Q_n = P_{сп} / k = 10,5 / 0,5 = 21 \text{ кН}, \quad (51)$$

где $k = 0,5$ – коэффициент распределения веса трелеваемой пачки деревьев между машиной и грунтом.

Найденное значение Q_n проверяется по условию обеспечения тягово-сцепными свойствами МТТ.

На машину при трелевке пачки весом Q действуют технологические силы: нормальная kQ и горизонтальная $P_{вол}$, обусловленная силами сопротивления волочению части пачки, опирающейся на грунт:

$$P_{вол} = f_{вол} (1 - k)Q, \quad (52)$$

где $f_{вол}$ – коэффициент сопротивления волочению пачки.

Из уравнения тягового баланса МТТ при грузовом ходе с постоянной скоростью V по горизонтальному участку волока можно получить выражение для касательной силы тяги P_k на ведущих колесах

$$P_k = f(G_s + kQ) + f_{вол} (1 - k)Q, \quad (53)$$

где f – коэффициент сопротивления качению МТТ.

Полученное значение касательной силы тяги P_k должно быть обеспечено сцеплением ведущих колес с грунтом, что возможно при выполнении условия:

$$P_{к\phi} = \phi\lambda(G_s + kQ) > P_k = f(G_s + kQ) + f_{вол} (1 - k)Q, \quad (54)$$

где ϕ – коэффициент сцепления, λ – коэффициент развесовки МТТ, показывающий долю веса машины, приходящуюся на ведущие колеса.

На рис. 39 представлены результаты расчетов $P_{к\phi}$ и P_k при различных значениях рейсовой нагрузки Q . Видно, что номинальная рейсовая нагрузка $Q_n = 21$ кН обеспечивается сцеплением ведущих колес МТТ с грунтом при коэффициенте $\phi > 0,45$.

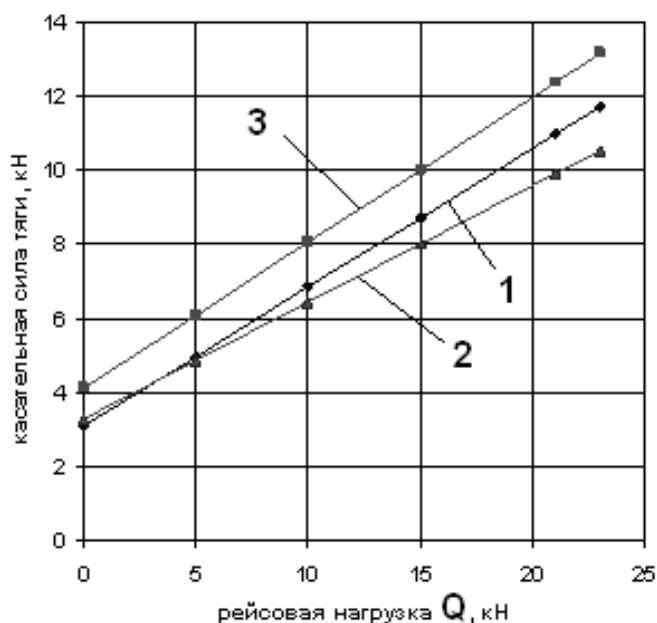


Рис. 39. Зависимости касательных сил от величины рейсовой нагрузки МТТ:
 1 – P_k , потребная для движения; 2 – $P_{k\phi}$ при $\phi = 0,4$;
 3 – $P_{k\phi}$ при $\phi = 0,5$

Затраты мощности двигателя при грузовом ходе МТТ со скоростью V составляют:

$$N_{\text{дв}} = (P_k \cdot V) / \eta, \quad (55)$$

где η – КПД, учитывающий потери в силовой передаче.

На рис. 40 представлены результаты расчета потребной мощности $N_{\text{дв}}$ при значениях скорости трельежки $V = 1 \dots 1,5$ м/с. Видно, что номинальная рейсовая нагрузка $Q_n = 21$ кН обеспечивается принятой мощностью двигателя МТТ.

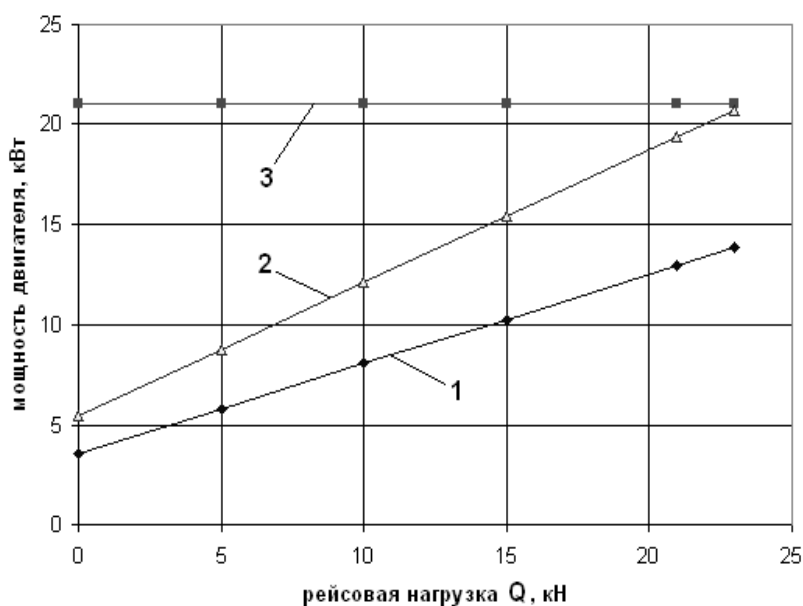


Рис. 40. Зависимости мощности двигателя от величины рейсовой нагрузки МТТ: 1 – $N_{\text{дв}}$ при $V = 1,0$ м/с; 2 – $N_{\text{дв}}$ при $V = 1,5$ м/с; 3 – принятая $N_{\text{дв}}$

Проведенные функциональные испытания опытного образца МТТ выявили ряд недостатков разработанной конструкции, например, сниженную управляемость при грузовом ходе с номинальной рейсовой нагрузкой.

Условие управляемости с учетом рекомендаций [68] может быть записано следующим образом:

$$R_{II} \geq 0,2(G_3 + kQ), \quad (56)$$

где R_{II} – реакция грунта на передние колеса, G_3 – эксплуатационный вес машины, Q – вес трелемной пачки.

Схема к расчету реакций грунта на колеса машины при ее грузовом ходе с постоянной скоростью V по горизонтальному участку волока представлена на рис. 41,а.

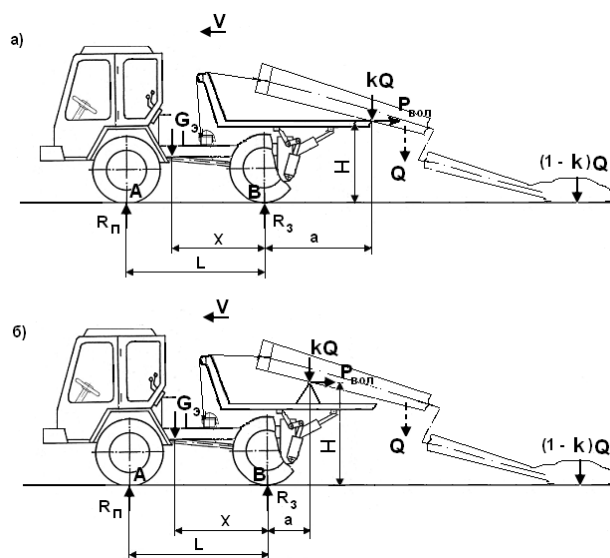


Рис. 41. Схемы к расчету опорных реакций МТТ при грузовом ходе

Составляя уравнения равновесия, можно получить выражения для определения реакций грунта на передние R_{II} и задние R_3 колеса машины:

$$\sum M_B = 0 \quad R_{II} \cdot L - G_3 \cdot X + kQ \cdot a + P_{вол} \cdot H = 0, \quad (57)$$

$$R_{II} = \frac{G_3 \cdot X - kQ \cdot a - P_{вол} \cdot H}{L},$$

$$\sum M_A = 0 \quad R_3 \cdot L - G_3 \cdot (L - X) - kQ \cdot a - P_{вол} \cdot H = 0, \quad (58)$$

$$R_3 = \frac{G_3 \cdot (L - X) + kQ \cdot a + P_{вол} \cdot H}{L},$$

где X – продольная координата центра масс машины относительно оси задних колес, a – плечо силы kQ , H – плечо силы $P_{вол}$.

Результаты расчетов реакции R_f представлены на рис. 42, графики 1 и 2. Наглядно видно, что условие управляемости (56) не выполняется при $Q > 15$ кН. Анализ показал, что одной из причин ухудшенной управляемости является опирание трелемной пачки на заднюю кромку настила щита [39]. При опирании пачки на среднюю часть щита, что возможно при выполнении на настиле щита специального выступа – коника, координата a значительно

уменьшается, рис. 41,б, вследствие чего реакция грунта R_{II} на передние колеса увеличивается.

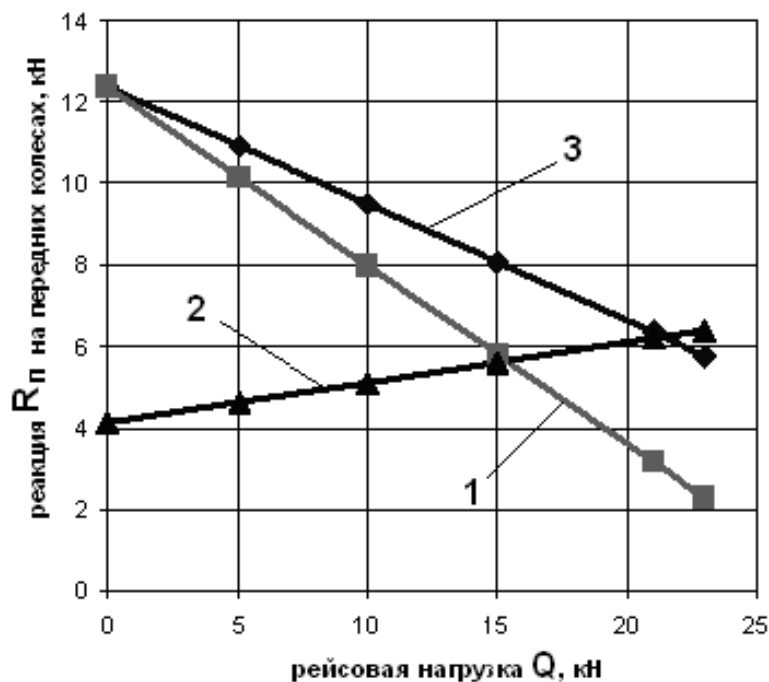


Рис. 42. Зависимости опорной реакции R_{II} от величины рейсовой нагрузки МТТ: 1 – при опирании пачки на кромку настила щита; 2 – значения, требуемые по условию управляемости; 3 – при опирании пачки на коник щита

Результаты расчетов реакции R_{II} для случая опирания пачки на коник щита представлены на рис. 42, график 3. Наглядно видно, что при этом условие управляемости (56) выполняется во всем диапазоне значений рейсовой нагрузки Q : от 0 до 21 кН.

Проведенный теоретический анализ позволил предложить усовершенствованную конструкцию МТТ, отличающуюся тем, что настил погрузочного щита снабжен легкоъемным коником, размещенным в средней части щита и имеющим опорные и направляющие поверхности (патент РФ №2484987 на изобретение). Опорные поверхности выполнены наклонными в поперечном направлении, причем линия их пересечения лежит в вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось симметрии щита, на высоте от настила, определяемой из условия отсутствия контакта задней кромки настила с пакетом трельюемой древесины при грузовом ходе транспортного средства. Направляющие поверхности расположены на участке щита от задней кромки настила до опорных поверхностей коника и выполнены наклонными к плоскости настила, причем линия пересечения направляющих поверхностей также лежит в указанной вертикальной плоскости. На рис. 43 изображена схема движения МТТ при грузовом ходе по лесосеке, а на рис. 44 представлено предложенное техническое решение конструкции МТТ.

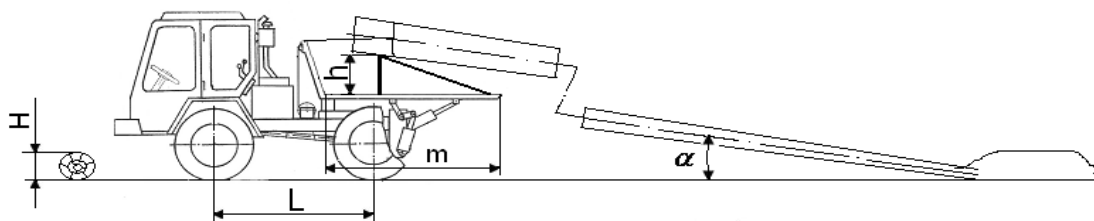


Рис. 43. Движение МТТ грузовым ходом по лесосеке

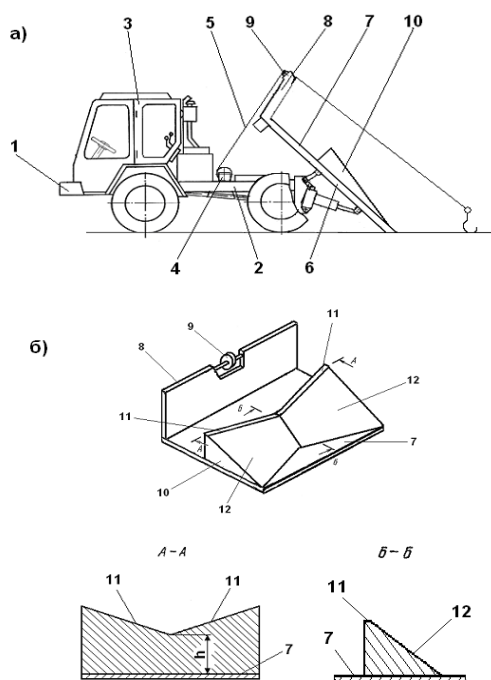


Рис. 44. Усовершенствованная конструкция МТТ:

а – вид сбоку на транспортное средство при упоре погрузочного щита в опорную поверхность; б – погрузочный щит, общий вид с разрезами

Опорные поверхности 11 коника 10 выполнены наклонными в поперечном направлении, причем линия их пересечения лежит в вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось симметрии щита б, на высоте h от настила 7, определяемой из условия отсутствия контакта задней кромки настила с пакетом трельюемых деревьев при грузовом ходе транспортного средства по опорной плоскости движения с сосредоточенными препятствиями высотой H по формуле:

$$h \geq 0,5 \cdot m \cdot \left(\operatorname{tg} \alpha + \frac{H}{L} \right), \quad (59)$$

где m – длина настила щита; L – продольная база транспортного средства; α – угол наклона оси пакета трельюемой древесины к опорной плоскости движения машины.

Направляющие поверхности 12 коника выполнены наклонными к плоскости настила на участке щита от задней кромки настила до опорных

поверхностей коника. Линия пересечения направляющих поверхностей также лежит в указанной вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось симметрии щита.

При погрузке пакета деревьев погрузочный щит устанавливается гидроприводом в положение, при котором задняя кромка настила упирается в грунт. Канат 5 лебедки 4, запасанный в блок 9, прикрепляется к погружаемому пакету деревьев. Включением привода лебедки осуществляется намотка каната на барабан лебедки. Прикрепленный к канату пакет деревьев подтаскивается к автотрактору, и конец пакета начинает движение по погрузочному щиту и его конику. Центральное расположение блока на опоре 8 и скольжение конца пакета деревьев по направляющим поверхностям коника способствуют тому, что к моменту выхода конца пакета на опорные поверхности коника продольная ось симметрии пакета располагается в вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось симметрии щита. Срабатыванием гидропривода погрузочный щит устанавливается на остов 2 шасси 1 в транспортное положение. Привод лебедки отключается, и ее барабан затормаживается. Это обеспечивает удержание конца пакета деревьев на конике щита при грузовом ходе автотрактора, а расположение продольных осей симметрии пакета древесины и щита в одной вертикальной плоскости приводит к равномерной нагрузке по бортам автотрактора при его прямолинейном движении. Опорные поверхности 11, выполненные наклонными в поперечном направлении, облегчают удержание конца пакета деревьев на конике щита при крутых поворотах автотрактора или движении его по косогору.

Так как линия пересечения опорных поверхностей 11 расположена над настилом на высоте $h \geq 0,5 \cdot m \cdot (tg\alpha + \frac{H}{L})$, где m – длина настила щита; α – угол наклона оси пакета трелюемых деревьев к опорной плоскости движения машины, то при грузовом ходе транспортного средства отсутствует контакт задней кромки настила с пакетом трелюемых деревьев даже при съезде задних колес с препятствия высотой H . Опираение конца пакета трелюемых деревьев на коник, размещенный в средней части щита, способствует тому, что опорные реакции грунта на передние колеса транспортного средства, по сравнению со случаем опирания на заднюю кромку настила, возрастают более чем в два раза, что позволяет улучшить управляемость при грузовом ходе транспортного средства.

Использование предложенного технического решения исключает вздыбливание МТТ при грузовом ходе, улучшает управляемость и обеспечивает повышение производительности при трелевке древесины.

Для повышения проходимости в зимний период при достаточно большой высоте снежного покрова и в летний период на водонасыщенных лесных грунтах предусмотрено оснастить МТТ комбинированной ходовой системой: передний мост снабдить колесным ходом, задний мост – полугусеничным ходом (ПГХ).

Далее представлена оценка эксплуатационной эффективности МТТ с комбинированной ходовой системой [19].

Мощность N_e двигателя МТТ затрачивается на преодоление сопротивлений качения N_f машины и волочения $N_{вол}$ пачки деревьев (хлыстов), а также трения в трансмиссии:

$$N_e = (N_f + N_{вол}) / \eta_{тр}, \quad (60)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

Для расчета N_f проведен анализ сопротивления качению МТТ на различных грунтовых фонах, получены расчетные значения коэффициентов сопротивления качению управляемого колесного хода f_k и ведущего гусеничного движителя f_2 в зависимости от рейсовой нагрузки Q , реализуемой МТТ. Для расчета $N_{вол}$ определены силы сопротивления волочению при разных способах погрузки хлыстов (вершинами и комлями на щит), рис. 45.

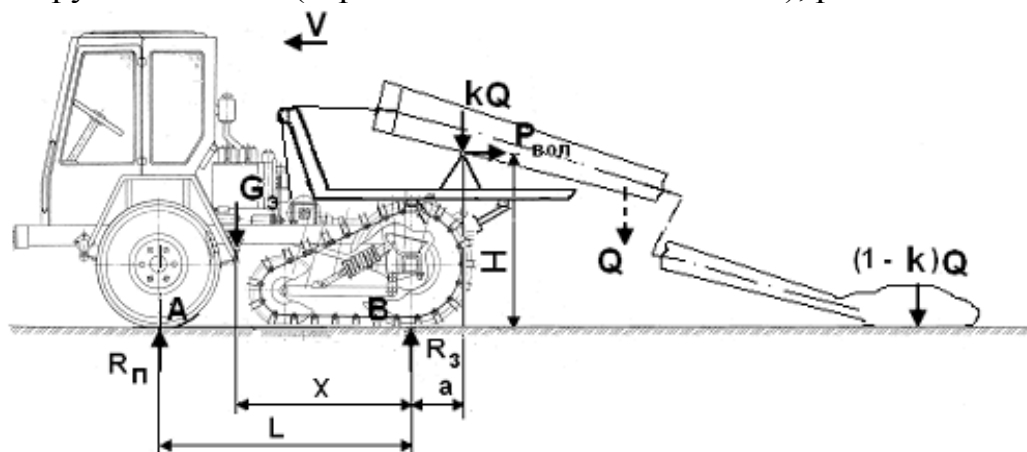


Рис. 45. Расчетная схема МТТ при грузовом ходе

При заданном уровне мощности двигателя МТТ $N_e = 28,5$ л.с. и КПД трансмиссии $\eta_{дд} = 0,85$ можно определить предельную теоретическую скорость $V_{пред}$ движения машины с той или иной рейсовой нагрузкой по формуле:

$$V_{пред} = 270 \cdot N_e \cdot \eta_{тр} / [f_k \cdot \chi \cdot (G_з + k_n \cdot Q) + f_2 \cdot (1 - \chi) \cdot (G_з + k_n \cdot Q) + (1 - k_n) \cdot f_{вол} \cdot Q] \text{ км/ч} \quad (61)$$

где χ – коэффициент, характеризующий весовую нагрузку, приходящуюся на колеса; k_i – коэффициент, отражающий долю веса пачки, приходящуюся на раму трактора; $f_{вол}$ – коэффициент сопротивления волочению пачки хлыстов.

Результаты расчетов $V_{пред}$ для типовых грунтовых фонов при грузовом ходе с $Q = 3500$ кгс и при холостом ходе представлены в табл. 3.

Таблица 3

Предельная теоретическая скорость $V_{пред}$ движения МТТ с ПГХ, км/ч

Состояние волока	Режим движения МТТ	
	грузовой ход	холостой ход
Грязный летний волок	3,19	10,67
Накатанный зимний волок	3,94	23,47
Рыхлый глубокий снег	1,70	2,27

Действительная скорость движения зависит от буксования движителя:

$$V_{действ} = V_{пред} \cdot (1 - \delta). \quad (62)$$

При этом само буксование δ зависит от соотношения:

$$\varphi_k = P_k / N, \quad (63)$$

где P_k – реализуемая касательная сила тяги; N – нормальная реакция грунта под двигателем.

Для рассматриваемого МТТ с ПГХ можно записать:

$$P_k = f_k \cdot \chi \cdot (G_3 + k_n \cdot Q) + f_2 \cdot (1 - \chi) \cdot (G_3 + k_n \cdot Q) + (1 - k_n) \cdot f_{вол} \cdot Q \text{ кгс}, \quad (64)$$

$$N = (1 - \chi) \cdot (G_3 + k_n \cdot Q) \text{ кгс}. \quad (65)$$

Среднее буксование δ при различных φ_k представлено в табл. 4.

Таблица 4

Среднее буксование гусеничных машин

φ_k	До 0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$\delta, \%$	2	4	5	6	9	14	100

Результаты расчетов $V_{действ}$ для типовых грунтовых фонов при грузовом ходе с $Q = 3500 \text{ кгс}$ и при холостом ходе представлены в табл. 5.

Таблица 5

Предельная действительная скорость $V_{действ}$ движения МТТ с ПГХ, км/ч

Состояние волока	Режим движения МТТ	
	грузовой ход	холостой ход
Грязный летний волок	0	10,06
Накатанный зимний волок	3,88	22,93
Рыхлый глубокий снег	0	0

Из табл. 6 видно, что на ряде грунтовых фонов как летом, так и зимой, даже при отсутствии уклонов волоков, потребуется значительное снижение рейсовой нагрузки МТТ, так как при номинальной нагрузке машина практически теряет подвижность из-за 100%-ного буксования.

Задаваясь допустимым буксованием $\delta < 15\%$, можно определить, см. табл. 6, что предельная рейсовая нагрузка при этом значительно ниже паспортного значения $Q = 3500 \text{ кгс}$.

Таблица 6

Состояние волока	$Q_{пред}, \text{ кгс}$
Грязный летний волок	1400
Накатанный зимний волок	2400
Рыхлый глубокий снег	1200

Рассчитанные значения предельных рейсовых нагрузок при движении МТТ на различных грунтовых фонах могут быть использованы при анализе эксплуатационной производительности машины.

3.7. Сеноуборочный агрегат

В рамках проводимой работы определенное внимание было уделено проблемам погрузки и транспортировки рулонов сена в фермерских хозяйствах, применяющих малогабаритную мобильную технику.

В РИИ АлтГТУ проработан вопрос повышения приспособленности автотрактора к погрузке рулонов сена. Указанная техническая задача решается тем, что самосвальный кузов автотрактора оснащается гидроцилиндром, закрепленным на гидроуправляемом рычаге второго рода, установленном на днище кузова в его средней части и поворотном в вертикальной продольной плоскости, причем конец штока гидроцилиндра снабжается резьбой с возможностью установки на нем двух планок, оснащенных зубьями, и гайки-барашка, при этом концы планок выполнены с крючками для крепления каната лебедки, а на боковых стенках кузова монтируются скобы для крепления растяжек (патент РФ №2486076 на изобретение). Предложенное техническое решение сеноуборочного агрегата представлено на рис. 46.

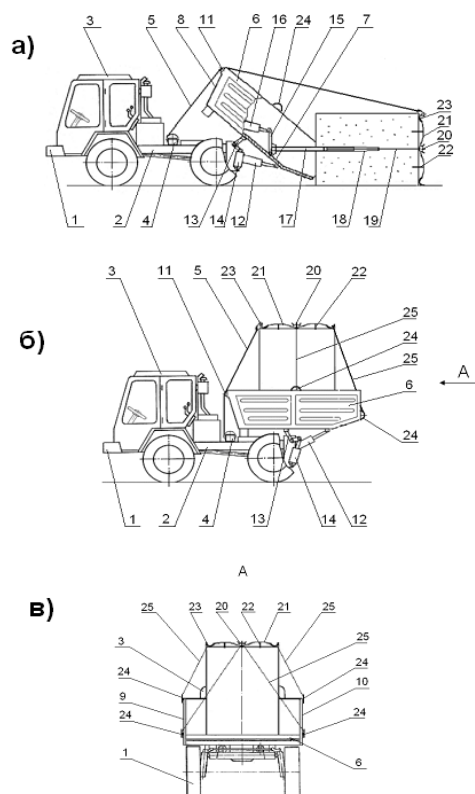


Рис. 46. Сеноуборочный агрегат на базе автотрактора:
а – вид сбоку на агрегат в погрузочном положении при опущенном самосвальном кузове; б – вид сбоку на агрегат с самосвальным кузовом в транспортном положении; в – вид А

При погрузке рулона сена штоки гидроцилиндров 12 и 14 втянуты и самосвальный кузов 6 находится в погрузочном положении. Задняя кромка днища 7 кузова опущена до опорной поверхности автотрактора, а само днище кузова получает определенный угол наклона ($50...55^\circ$) к указанной поверхности. Рычаг 15 поворачивается гидроприводом 16 в вертикальной

продольной плоскости так, чтобы шток 19 гидроцилиндра 17 был параллелен опорной поверхности. При движении автотрактора задним ходом шток гидроцилиндра внедряется в лежащий на опорной поверхности рулон сена. Подачей рабочей жидкости в поршневую полость гидроцилиндра осуществляется выдвигание штока, достаточное для сквозного прохода через рулон сена. Кожух 18 способствует повышению изгибной прочности штока, а уплотнение, устанавливаемое на внутренней поверхности кожуха, снижает вероятность загрязнения сена рабочей жидкостью, следы которой могут быть на выдвигаемом штоке. После протыкания рулона сена на конец штока надеваются две планки 21, а на резьбу конца штока накручивается гайка-барашек 20. Одна из планок устанавливается вертикально, вторая планка – перпендикулярно к первой, при этом зубья 22 обеих планок внедряются в рулон сена, а на верхнем крючке 23 вертикальной планки крепится канат 5 лебедки 4.

Втягиванием штока за счет подачи рабочей жидкости в штоковую полость гидроцилиндра и поворотом рычага 15 при помощи гидропривода в положение, при котором шток гидроцилиндра 17 перпендикулярен днищу кузова, производится установка рулона сена на днище. Дальнейшим срабатыванием гидроцилиндров 12 и 14 (выдвижением их штоков) осуществляется перевод кузова в транспортное положение. Намоткой каната на барабан лебедки, а также установкой растяжек 25 с их креплением к свободным крючкам 23 планок 21 и к скобам 24 на боковых стенках 9 и 10 осуществляется надежная фиксация рулона сена в кузове, после чего сеноуборочный агрегат доставляет рулон к месту складирования.

При разгрузке рулона сена канат разматывается с барабана лебедки, растяжки 25 отсоединяются от крючков 23 планок 21 и от скоб 24, гайка-барашек 20 свинчивается с резьбового конца штока 19 и планки снимаются со штока. Срабатыванием гидроцилиндров 12 и 14 (втягиванием их штоков) кузов переводится из транспортного положения в положение, при котором днище наклонено к опорной поверхности, и происходит самосвальная разгрузка рулона сена.

При необходимости описанный цикл погрузки, транспортировки и разгрузки может быть неоднократно повторен.

Экономический эффект достигается за счет снижения потребности в дорогостоящей технике для вывозки рулонов сена с полей. Благодаря оснащению самосвального кузова предложенным устройством для погрузки рулонов сена расширяются функциональные возможности автотрактора и снижается трудоемкость транспортных работ в КФХ(ЛПХ).

В РИИ АлтГТУ проведен теоретический анализ режимов работы сеноуборочного агрегата [43]. Рассмотрены стадии погрузки, транспортировки и разгрузки рулона сена. Важнейшей из них и критичной по условиям является стадия погрузки, особенно начальный ее этап, на котором происходит протыкание рулона сена штоком 19. Схема усилий, приложенных в этом случае к рулону сена, представлена на рис. 47.

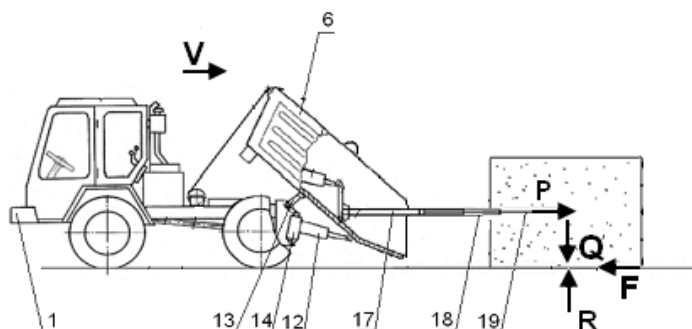


Рис. 47. Расчетная схема начального этапа стадии погрузки рулона сена

Рулон сена находится под действием усилия P штока, собственной силы тяжести Q , нормальной R и касательной F реакций опорной поверхности. Условие протыкания рулона штоком можно выразить следующим образом:

$$F \geq P. \quad (66)$$

Принимая, что сила F обусловлена трением рулона об опорную поверхность, можно записать:

$$F = f \cdot Q, \quad (67)$$

где f – коэффициент трения пары рулон – опорная поверхность.

По опытным данным, $f = 0,1 \dots 0,3$.

Численное значение усилия P на штоке определяется реакцией материала рулона на внедрение в него индентора. С учетом прочности материала рулона и размеров индентора (шток 19, кожух 18) можно принять, что $P = 300 \dots 1200$ Н.

Вес рулона изменяется в определенных пределах: $Q = 3000 \dots 5500$ Н.

Результаты расчетов для различных производственных условий представлены графически на рис. 48.

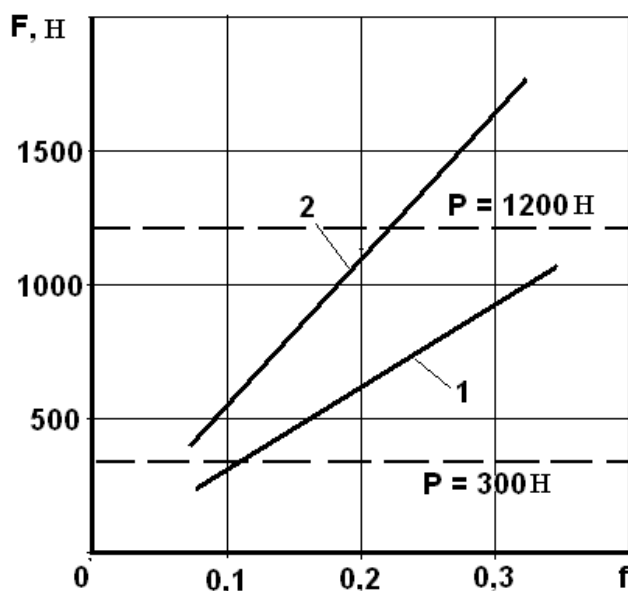


Рис. 48. Расчетные данные к анализу начального этапа стадии погрузки рулона сена: 1 – $Q = 3000$ Н; 2 – $Q = 5500$ Н

Из расчетных данных на рис. 48 следует, что для массивных рулонов сена при сухой поверхности поля нанизывание погружаемого рулона на шток 19

происходит беспрепятственно. Для повышения эффективности процесса протыкания рулона сена штоком в других случаях (малая масса рулона, влажная поверхность поля и т.п.) могут быть использованы подручные средства, исключающие проскальзывание обрабатываемого рулона относительно опорной поверхности, например, пальцы тракторных гусениц, забиваемые в почву со стороны торца рулона, удаленного от погрузочно-транспортного средства.

Недостатками рассмотренного сеноуборочного агрегата являются повышенная сложность конструкции и неудовлетворительная экологичность ввиду возможности загрязнения сена и поверхности поля рабочей жидкостью, так как поворотный рычаг второго рода и выдвижной шток выполнены гидрорегулируемыми.

Авторами предложено техническое решение по упрощению конструкции сеноуборочного агрегата: самосвальный кузов оснащается механизмом фиксации рычага второго рода от поворота, выполненным в виде соосных круговых отверстий на боковых стенках кузова, проушины, установленной на конце поворотного рычага второго рода и фиксирующего пальца в виде стержня цилиндрической формы, один конец которого загнут, а выдвижной шток выполняется в виде трубы, внутренняя поверхность которой снабжена левой резьбой, и взаимодействующего с ней стержня цилиндрической формы, один конец которого снабжен левой резьбой, а другой – правой, при этом гайка-барашек выполняется с правой резьбой. Предложенная конструкция поясняется чертежами на рис. 49.

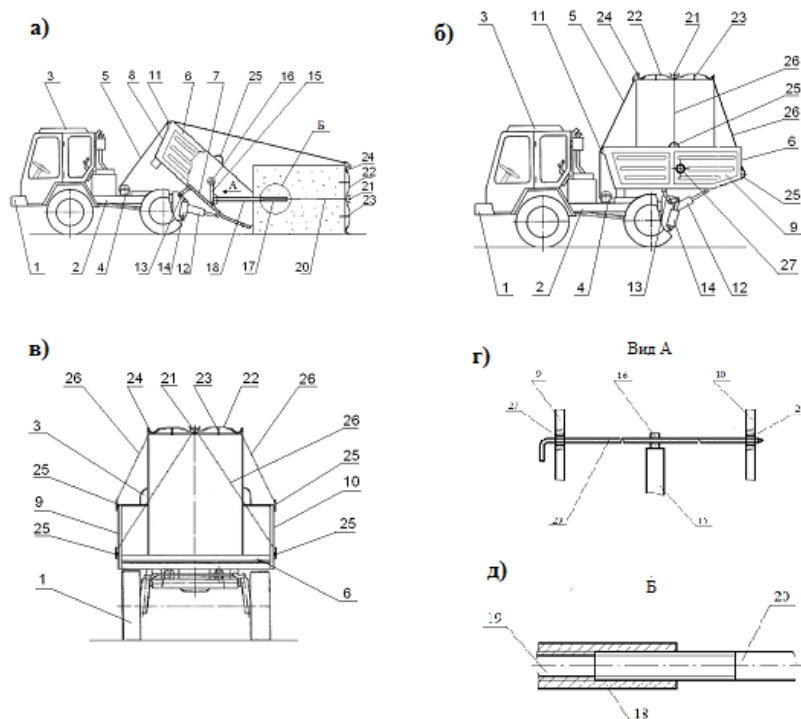


Рис. 49. Экологичный сеноуборочный агрегат на базе автотрактора: а – вид сбоку на агрегат в погрузочном положении при опущенном самосвальном кузове; б – вид сбоку на агрегат с самосвальным кузовом в транспортном положении; в – вид сзади на сеноуборочный агрегат; г – вид А; д – выносной элемент Б

При погрузке рулона сена штоки гидроцилиндров 12 и 14 втянуты и самосвальная кузов 6 находится в погрузочном положении. Задняя кромка днища 7 кузова опущена до опорной поверхности сеноуборочного агрегата, а само днище кузова получает определенный угол наклона ($50...55^\circ$) к указанной поверхности. Рычаг 15 поворачивают вручную в вертикальной продольной плоскости так, чтобы выдвижной шток 17 был параллелен опорной поверхности. В отверстие 27 стенки 9, проушину 16 и отверстие 28 стенки 10 вставляют палец 29, что приводит к фиксации рычага 15 от поворотов в вертикальной продольной плоскости.

При движении сеноуборочного агрегата задним ходом выдвижной шток внедряется в лежащий на опорной поверхности рулон сена. Предварительным вращением стержня 20 в резьбе трубы 18 подбирается длина выдвижного штока, достаточная для сквозного прохода через рулон сена. После протыкания рулона сена на конец выдвижного штока надеваются две планки 22, а на резьбу конца штока накручивается гайка-барашек 21. Одна из планок устанавливается вертикально, вторая планка – перпендикулярно к первой, при этом зубья 23 обеих планок внедряются в рулон сена, а на верхнем крючке 24 вертикальной планки крепится канат 5 лебедки 4.

Вручную разфиксируют поворотный рычаг 15, для чего палец 29 вынимают из отверстия 28 стенки 10, проушины 16 и отверстия 27 стенки 9, используя загиб конца пальца 29 в качестве ручки. От каната при его намотке на барабан лебедки через вертикальную планку 22 на шток 17 передается усилие, приводящее к повороту рычага 15 в положение, при котором выдвижной шток перпендикулярен днищу кузова, чем производится установка рулона сена на днище. Дальнейшим срабатыванием гидроцилиндров 12 и 14 (выдвижением их штоков) осуществляется перевод кузова в транспортное положение. Намоткой каната на барабан лебедки, установкой растяжек 26 с их креплением к свободным крючкам 24 планок 22 и к скобам 25 на боковых стенках 9 и 10, а также, при необходимости, изменением длины выдвижного штока за счет ввертывания стержня 20 в трубу 18 осуществляется надежная фиксация рулона сена в кузове, после чего сеноуборочный агрегат доставляет рулон к месту складирования.

При разгрузке рулона сена канат разматывается с барабана лебедки, растяжки 26 отсоединяются от крючков 24 планок 22 и от скоб 25, гайка-барашек 21 свинчивается с резьбового конца штока 17 и планки 22 снимаются со штока. Срабатыванием гидроцилиндров 12 и 14 (втягиванием их штоков) кузов переводится из транспортного положения в положение, при котором днище наклонено к опорной поверхности, и происходит самосвальная разгрузка рулона сена.

При необходимости описанный цикл погрузки, транспортировки и разгрузки может быть неоднократно повторен.

Экономический эффект достигается за счет снижения потребности в дорогостоящей технике для вывозки рулонов сена с полей. Благодаря оснащению самосвального кузова предложенным устройством для погрузки рулонов сена расширяются функциональные возможности автотрактора и

снижается трудоемкость транспортных работ в фермерских хозяйствах. Упрощение конструкции за счет исключения гидроприводов поворотного рычага и выдвигного штока повышает ее надежность и экологичность.

3.8. Механизм погрузки затаренных насыпных и навалочных грузов

Известно, что малые формы хозяйствования КФХ и ЛПХ дают почти 95% объема производства картофеля в России. Однако уровень механизации операций уборки картофеля на полях КФХ и ЛПХ очень низок: вручную производится копка картофеля, затаривание его в мешки, погрузка мешков на подвижный автомобильный состав и разгрузка их в пункте назначения.

В РИИ АлтГТУ предложено схемное решение (патент РФ №134859 на полезную модель), при котором колесный трактор оснащается лебедкой, самосвальным кузовом аппарельного типа и вспомогательной грузовой тележкой (ВГТ), приспособленной для размещения и закрепления мешков с затаренным в них картофелем. Конец каната лебедки закреплен на передних стойках каркаса ВГТ. Для обеспечения возможности плавного перемещения по взрыхленной неровной поверхности картофельного поля ВГТ снабжена гусеничным ходом.

Фазы погрузки затаренного картофеля в кузов трактора и его транспортировки представлены на рис. 50.

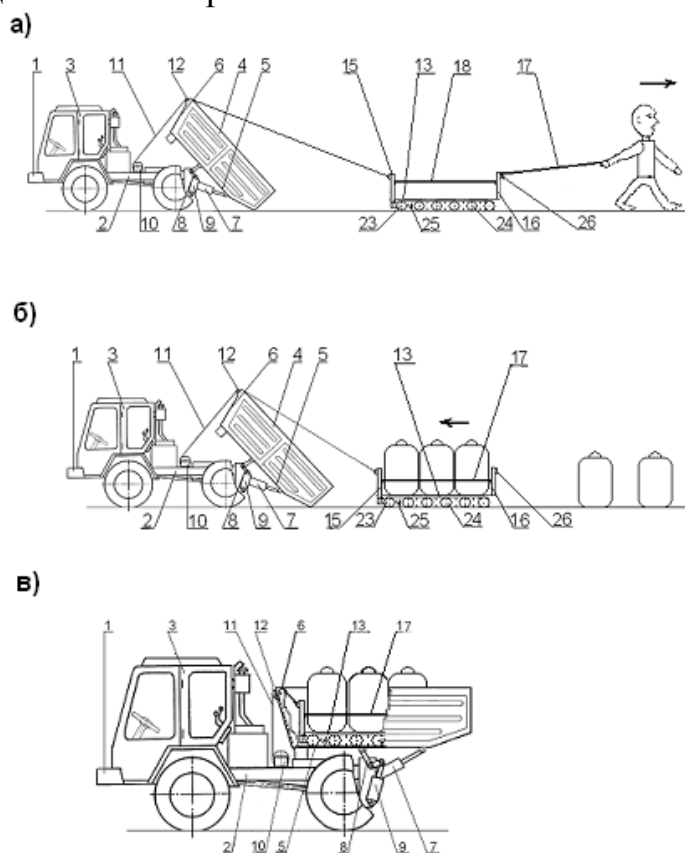


Рис. 50. Использование трактора на вывозке затаренного картофеля:
 а – доставка ВГТ в нужную точку поля; б – подтаскивание груженой ВГТ к трактору; в – грузовой ход трактора к месту разгрузки

Погрузка затаренного картофеля на поле происходит следующим образом. Автотрактор опускает самосвальный кузов 4 до упора в грунт у кромки поля. ВГТ 13 ручной буксировкой за съемные продольные элементы 17 или 18 каркаса доставляется в нужную точку поля, рис. 56,а. Канат 11 лебедки 10, присоединенный к передней стенке ВГТ, при этом разматывается, барабан лебедки расторможен. Удаление ВГТ от автотрактора может достигать нескольких десятков метров, что обеспечивается соответствующей канатоемкостью барабана лебедки.

После размещения на настиле рамы 14 ВГТ мешков с картофелем и установки продольного элемента 17 (или 18) его крючками в проушинах на передних 15 и задних 16 стойках каркаса намоткой каната на барабан лебедки осуществляется подтягивание ВГТ к автотрактору и последующее затаскивание ее в кузов. Амортизационно-натяжные устройства 25 и реборды 22 обеспечивают устойчивость хода опорных колес 24 в условиях микронеровностей грунтовой поверхности поля.

После затаскивания ВГТ в кузов при помощи гидроцилиндров 7 и 9 кузов устанавливается в транспортное положение. Барабан лебедки затормаживается, и автотрактор готов к совершению грузового хода к месту закладки картофеля на хранение, рис. 50,в.

В пункте назначения производится самосвальная разгрузка ВГТ вместе с мешками. После освобождения от мешков пустая ВГТ затаскивается в кузов и автотрактор возвращается на поле за очередной партией мешков.

Эскизная проработка ВГТ представлена на рис. 51, а численные значения параметров – в табл. 7.

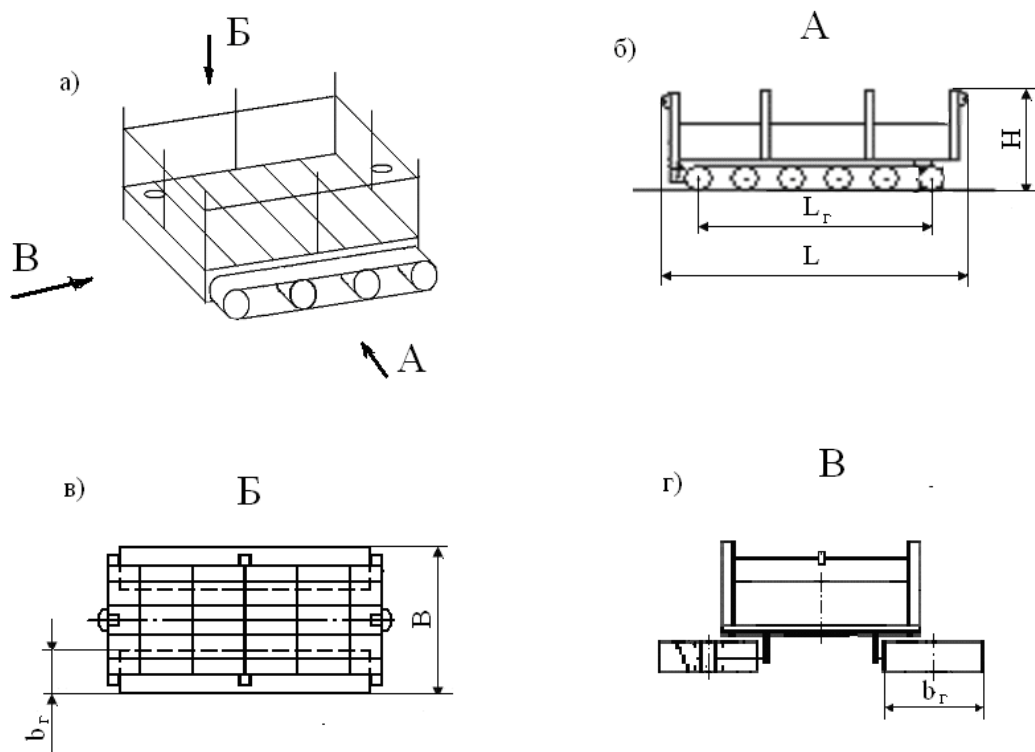


Рис. 51. Конструктивная схема ВГТ:
а – общий вид; б – вид сбоку; в – вид сверху; г – вид спереди

Техническая характеристика ВГТ

Параметр ВГТ	Численное значение
1. Номинальная грузоподъемность:	
– в кг	400
– в кН	4,0
2. Конструктивная масса ВГТ, кг, не более	40
3. Эксплуатационный вес груженой ВГТ, кН	4,4
4. Габаритные размеры ВГТ (длина x ширина x высота), мм	1600x800x600
5. Погрузочная высота (расстояние от опорной поверхности до рабочей поверхности настила) ВГТ, мм, не более	200
6. Колея, мм	700
7. Длина опорной поверхности гусениц, мм	1300
8. Среднее удельное давление на почву при номинальной грузоподъемности, кПа, не более	17

Приемлемость предложенных конструктивных решений может быть подтверждена анализом производительности [16].

Производительность автотрактора (т/ч) при вывозке с поля картофеля, затаренного в мешки, может быть определена по формуле (40). При этом коэффициент k , учитывающий долю полезного груза в общей грузоподъемности машины, с учетом параметров ВГТ может быть принят равным $k = 0,75$. Время цикла в целом, затраты времени на грузовой ход $t_{грх}$ и холостой ход можно определить по формулам (41), (43) и (44).

При погрузке затраты времени $t_{п}$ зависят от расстояния размотки троса, скорости намотки троса, от темпа погрузки мешков на платформу ВГТ и других факторов. Экспертно для предложенной машины можно принять:

$$t_{п} = 0,15 \text{ ч.}$$

Затраты времени при разгрузке автотрактора в пункте назначения экспертно можно принять:

$$t_{разгр} = 0,07 \text{ ч.}$$

Результаты расчетов производительности при $k = 0,75$, $\eta = 0,85$ и $f = 0,07$ и $L = 2 \dots 10$ км представлены графически на рис. 52.

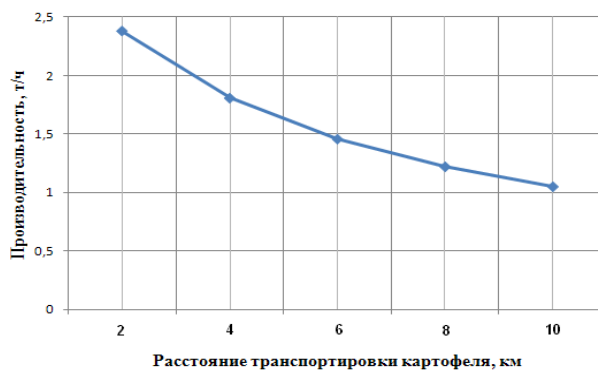


Рис. 52. Зависимость производительности автотрактора на вывозке затаренного картофеля от расстояния транспортировки

Расчеты показывают, что среднее ЛПХ, используя предлагаемое погрузочно-транспортное средство на базе автотрактора, осуществит вывозку собранного урожая картофеля в пределах часа.

При уборке картофеля наряду с использованием одиночной ВГТ возможно применение одновременно нескольких ВГТ, соединенных друг с другом сцепками в виде “поезда”.

Технологическая схема перемещения затаренного картофеля в этом случае представлена на рис. 53.

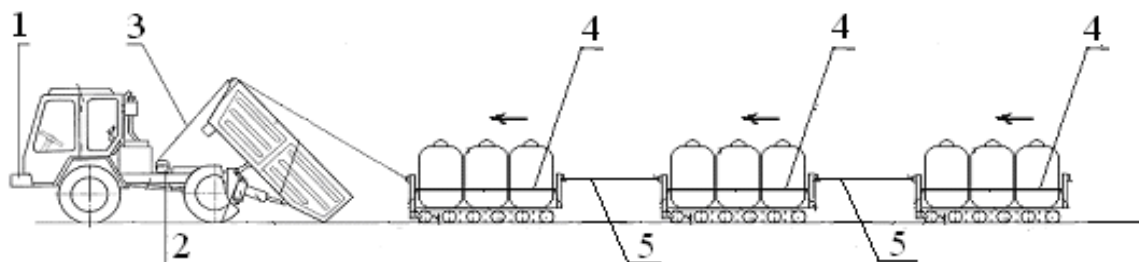


Рис. 53. Технологическая схема “поезда” ВГТ:

1 – автотрактор, 2 – тяговая лебедка, 3 – канат лебедки, 4 – ВГТ, 5 – сцепка

Рассматривая равномерное движение по поверхности поля, можно записать, что усилие P_{mp} в канате лебедки, преодолевающее сопротивление качению всей транспортной системы, составляет:

$$P_{mp} = \sum P_{f_{ВГТ}} = n \cdot f \cdot G_{ВГТ}, \quad (68)$$

где n – число ВГТ в “поезде”, f – коэффициент сопротивления качению ВГТ, при предварительных расчетах можно с учетом гусеничной ходовой системы принять для убранного картофельного поля $f = 0,1$.

Затраты энергии на совершение транспортной работы в данном случае зависят от преодоления сил сопротивления качению “поезда” из ВГТ. Мощность, снимаемая с коленвала двигателя автотрактора, составляет:

$$N_e = P_{mp} \cdot V_{mp} / \eta_{леб}, \quad (69)$$

где V_{mp} – линейная скорость намотки каната, $\eta_{леб}$ – КПД привода лебедки.

Подставляя ранее определенную величину $G_{ВГТ} \approx 4400$ Н, получим при $V_{mp} = 1$ м/с, $\eta_{леб} = 0,9$.

$$N_e = n \cdot 0,1 \cdot 4400 \cdot 1,0 / (0,9 \cdot 1000) = 0,49 \cdot n \text{ кВт}. \quad (70)$$

В случае транспортировки такого же количества картофеля (8 n мешков) в кузове автотрактора ($G_{AT} \approx 19450$ Н – эксплуатационный вес автотрактора) потребная мощность, снимаемая с коленвала двигателя при КПД трансмиссии 0,85 и коэффициенте сопротивления качению колесного движителя 0,15, составляет:

$$N_e^{куз} = 0,15 \cdot (19450 + 8 \cdot n \cdot 500) / (0,85 \cdot 1000) = (3,43 + 0,71n) \text{ кВт}. \quad (71)$$

Отношение значений мощности для двух рассмотренных случаев:

$$\lambda = N_e^{кв3} / N_e = (1,45 + 7,0 / n). \quad (72)$$

На рис. 54 представлен график зависимости (72) – кривая 1.

Следует учесть, что при заданной грузоподъемности кузова автотрактора ($Q_{AT} = 10$ кН) зависимость (72) может быть реализована лишь до значения $n = 3$, что отражено на графике прерывистой линией. При $n > 3$ следует вести сравнение с другим транспортным средством большей грузоподъемности, например с грузовым автомобилем ГАЗ-53А ($G_{ГАЗ} \approx 32500$ Н).

Выражения (71) и (72) при этом примут вид:

$$N_e^{кв3} = 0,15 \cdot (32500 + 8 \cdot n \cdot 500) / (0,85 \cdot 1000) = (5,74 + 0,71n) \text{ кВт}; \quad (73)$$

$$\lambda = N_e^{кв3} / N_e = (1,45 + 11,7 / n). \quad (74)$$

График зависимости (74) представлен на рис. 54 кривой 2.

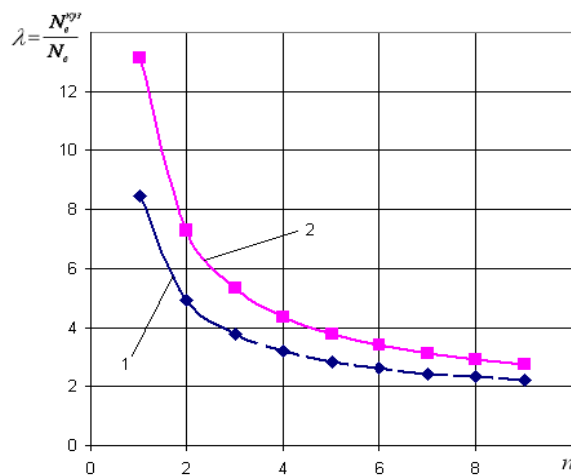


Рис. 54. Зависимость отношения значений мощности от числа ВГТ:
1 – зависимость (72); 2 – зависимость (74)

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Назовите преимущества самосвального кузова аппаратного типа.
2. Сформулируйте условие поворотливости автотрактора.
3. Какие, на Ваш взгляд, грузы сельскохозяйственного назначения можно подвергнуть контейнерной погрузке-разгрузке?
4. Какие, на Ваш взгляд, грузы сельскохозяйственного назначения можно отнести к навалочным и насыпным?
5. Предложите методику прочностного расчета металлической обечайки мешка, изображенного на рис.31.
6. Напишите математическую формулировку условия управляемости автотрактора. Поясните физический смысл условия управляемости.
7. Определите затраты мощности при подъеме самосвального кузова с рулоном сена, закрепленным способом, описанным в пункте 3.7.
8. Предложите способ перемещения “поезда” порожних ВГТ от автотрактора вглубь участка поля без применения физической силы фермера.

4. ПРИВОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

4.1. Использование канатно-аппарельного привода

Проведенный анализ показал, что в технологических операциях сельскохозяйственного производства значительное место занимают процессы горизонтального перемещения на большие расстояния грузов и рабочих органов машин и орудий. Такие процессы наблюдаются, например, при сгребании сена, при вспашке и культивации почвы, при перемещении собранного урожая от непосредственного места затаривания на поле к кромке поля – месту погрузки на автомобильный транспорт и т.д.

Очевидно, что для сельхозмашин малой размерности, характерных для ЛПХ, возможно использование канатно-аппарельного привода. Для количественной оценки такой возможности рассмотрим следующие расчетные случаи:

1. Незаторможенный автотрактор с самосвальным кузовом в транспортном положении канатом лебедки подтягивает груз (сельхозмашину), рис. 55.

2. Заторможенный автотрактор с самосвальным кузовом в транспортном положении канатом лебедки подтягивает груз (сельхозмашину), рис. 56.

3. Автотрактор с самосвальным кузовом, упертый в почву, канатом лебедки подтягивает груз (сельхозмашину), рис. 57.

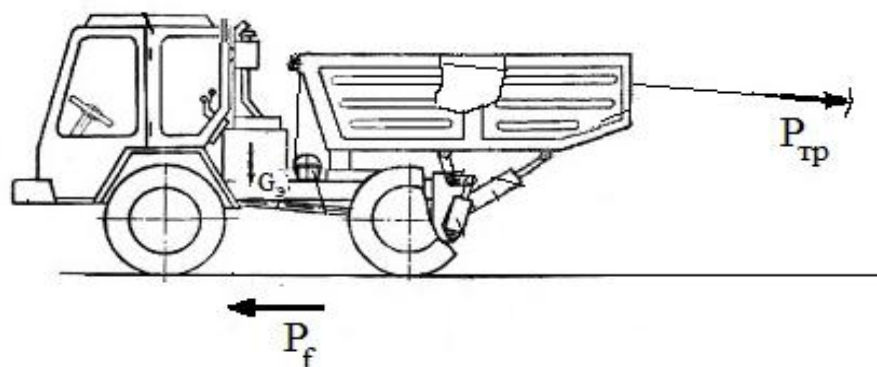


Рис. 55. Подтягивание груза (сельхозмашины) при незаторможенном автотракторе

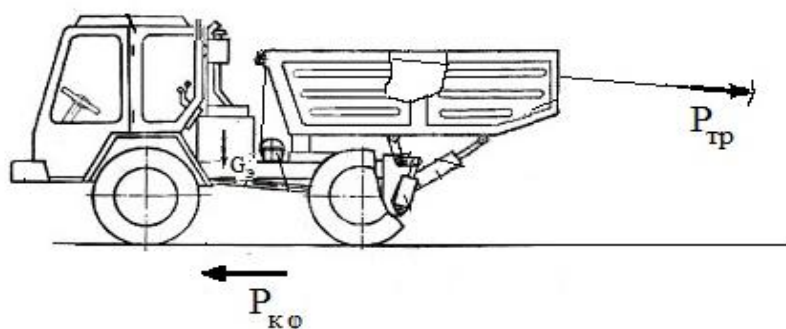


Рис. 56. Подтягивание груза (сельхозмашины) при заторможенном автотракторе

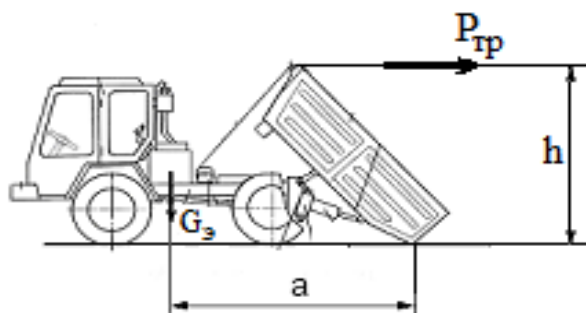


Рис. 57. Подтягивание груза (сельхозмашины) при самосвальном кузове, упертом в почву

Для всех расчетных случаев условно принято, что канат, сходящий с блока, установленного на передней стенке самосвального кузова, в начале подтягивания груза расположен горизонтально опорной поверхности автотрактора. Такое допущение с погрешностью, не превышающей 5%, правомочно при длине размотки каната более 15 м.

Расчетные формулы имеют вид:

- для первого расчетного случая

$$P_{тр} < P_f = f \cdot G_{э}, \quad (75)$$

- для второго расчетного случая

$$P_{тр} < P_{к\phi} = \lambda \cdot \phi \cdot G_{э}, \quad (76)$$

- для третьего расчетного случая

$$P_{тр} < G_{э} \cdot a / h. \quad (77)$$

Результаты расчетов по формулам (75)...(77) представлены графически в виде диаграммы на рис. 58.

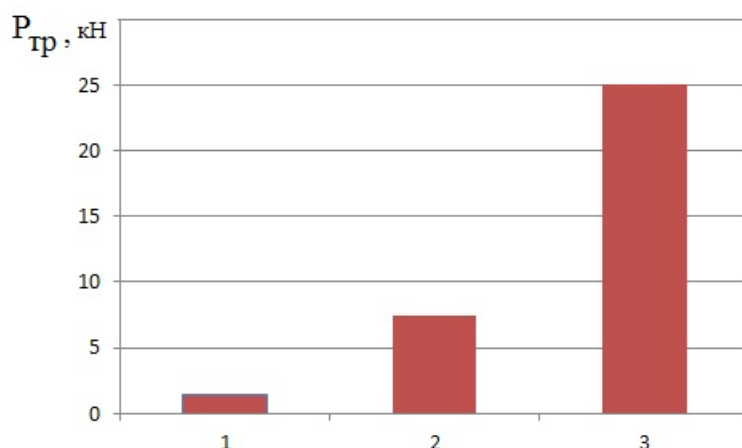


Рис. 58. Усилия в канате при подтягивании груза (сельхозмашины):
1 – по формуле (75); 2 – по формуле (76); 3 – по формуле (77)

Из расчетов следует, что при использовании канатно-аппарельного привода реализуются усилия, достаточные для работы сельхозмашин малой

размерности. Так, например, для плуга с рабочей шириной захвата 0,35 м требуется усилие до 6 кН, для плуга с рабочей шириной захвата 0,7 м – усилие до 12 кН и т.д.

Таким образом, автотрактор с канатно-аппарельным приводом сельхозмашин может использоваться в составе машинно-тракторных агрегатов, в том числе на энергоемких операциях.

4.2. Пахотный агрегат на базе автотрактора

Пахотные работы в КФХ и ЛПХ могут быть механизированы путем использования автотрактора ЭМ-0,6, оснащенного навесным плугом. При проектировании пахотного агрегата особое внимание должно уделяться выбору параметров плуга, обеспечивающего оптимальное использование тягово-сцепных качеств автотрактора [39].

Крюковое усилие $P_{кр}$ и ширина захвата B для пахотного агрегата могут быть определены по формулам:

$$P_{кр} = k \cdot b_k \cdot h \cdot n, \quad (78)$$

$$B = b_k \cdot n, \quad (79)$$

где k – удельное сопротивление почвы, кПа; b_k – ширина захвата корпуса плуга, м; h – глубина вспашки, м; n – количество корпусов.

В ходе исследования проводился анализ агрегатирования колесного автотрактора ЭМ-0,6 плугами, содержащими как корпуса со стандартной шириной захвата 0,35 м, так и конные корпуса с шириной захвата 0,2 м.

Расчеты по формулам (78) и (79) проведены с использованием программного обеспечения MS Excel и представлены графически на рис. 59. При расчетах принималось: удельное сопротивление почвы $k = 50 \dots 60$ кПа, глубина вспашки до $h = 0,2$ м.

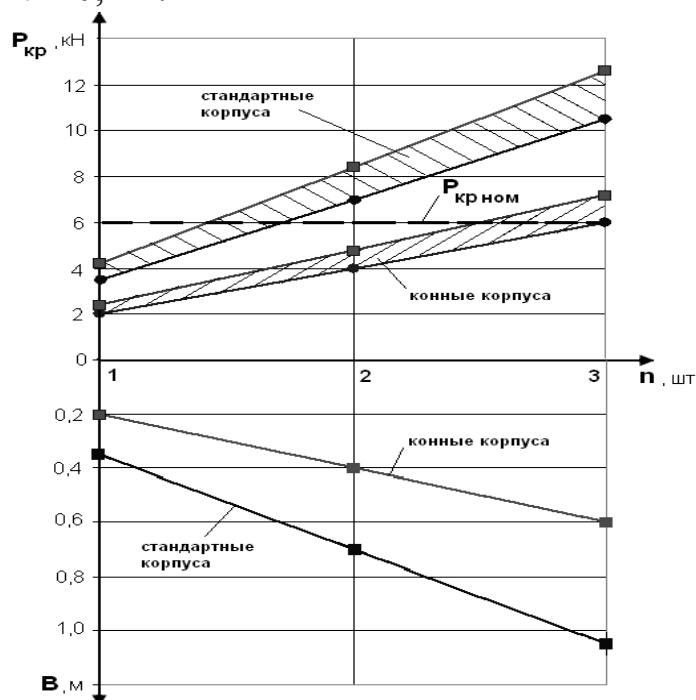


Рис. 59. Номограмма к определению параметров пахотного агрегата

Из графиков видно, что номинальное тяговое усилие автотрактора $P_{кр\ ном} = 6$ кН обеспечивает агрегатирование только с одним стандартным корпусом ($B = 0,35$ м) и с двумя конными корпусами ($B = 0,40$ м) во всем диапазоне почв, с тремя конными корпусами ($B = 0,60$ м) возможно агрегатирование при легких почвах. Таким образом, применение в составе пахотного агрегата на базе автотрактора ЭМ-0,6 плуга с конными корпусами позволяет по сравнению с вариантом использования стандартного корпуса поднять рабочий захват, а соответственно, и производительность на 14...70%.

При основной обработке почв в ряде случаев наблюдается чередование участков с различным удельным сопротивлением, что может приводить у пахотного агрегата с повышенным числом корпусов плуга к значительному буксованию ведущих колес и даже к заглоханию двигателя автотрактора. Целесообразно иметь плуг с достаточно простым регулированием ширины захвата: это позволяет приспособливаться к реальным условиям эксплуатации.

Авторами разработано техническое решение по регулированию захвата плуга, оснащенного тремя конными корпусами (патент РФ №2484612 на изобретение).

Предлагается в средней части остова автотрактора смонтировать лебедку с канатом, а несущий брус плуга выполнить из двух частей, передней и задней, связанных друг с другом посредством горизонтального шарнира, причем последний по ходу пахотного агрегата корпус плуга установить на задней части несущего бруса и соединить заднюю часть бруса с канатом лебедки. При этом предлагается снабдить горизонтальный шарнир фиксатором положения задней части несущего бруса плуга относительно передней части несущего бруса, рис. 60.

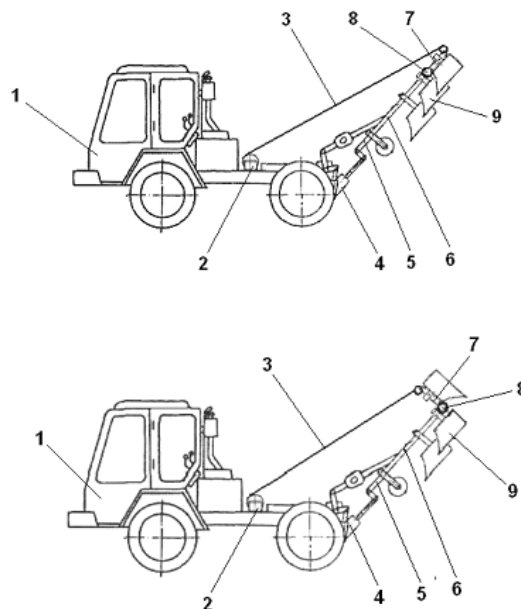


Рис. 60. Пахотный агрегат с регулируемой шириной захвата плуга

При основной обработке поля на участке с малым удельным сопротивлением почвы плуг 5 с нормальной шириной захвата устанавливается на заданную глубину вспашки при помощи гидроуправляемой навесной

системы 4. Фиксатор блокирует поворот задней части 7 несущего бруса плуга относительно передней части 6 бруса в шарнире 8 и обеспечивает тем самым работу всех корпусов 9 плуга.

При обработке поля на участке с повышенным удельным сопротивлением почвы ширину захвата плуга уменьшают. Для этого устраняется блокирующее действие фиксатора в шарнире 8 и намоткой каната 3 на барабан лебедки 2 достигается поворот в вертикальной продольной плоскости задней части 7 несущего бруса плуга относительно передней части бруса на угол, достаточный для подъема последнего по ходу пахотного агрегата корпуса 9 в положение, исключаящее его взаимодействие с почвой. При выезде на участок поля с малым удельным сопротивлением почвы плугу может быть возвращена нормальная ширина захвата.

Краткие выводы:

1. Применение в составе пахотного агрегата на базе автотрактора ЭМ-0,6 плуга с конными корпусами обеспечивает рост производительности по сравнению с однокорпусным плугом, оснащенным корпусом стандартной ширины (0,35 м).

2. Предложенное регулирование ширины захвата плуга с учетом удельного сопротивления почвы позволяет оптимально использовать тягово-сцепные качества автотрактора в реальных условиях эксплуатации КФХ и ЛПХ.

4.3. Поливальный агрегат на базе автотрактора

В условиях КФХ и ЛПХ нередки ситуации, когда приходится работать с наливными грузами. Одна из таких ситуаций рассмотрена выше: транспортировка молока во флягах с летнего пастбища. При возделывании овощей и картофеля на участках, удаленных от населенного пункта, может возникнуть потребность в доставке воды для последующего полива посадок. Для этого случая описанное выше транспортное средство малопригодно, т.к. обладает низкой производительностью, что обусловлено, в частности, применением малообъемной тары (фляг), а также отсутствием механизации процессов заполнения и опорожнения тары при перевозке наливных грузов.

Проведенный анализ показал, повышение производительности возможно путем приспособления транспортного средства к погрузке большеобъемной тары в виде цистерны и обеспечением механизации процессов заполнения и опорожнения тары.

Предложено (патент РФ №2536613) на осто́ве шасси автотрактора установить управляемый реверсивный шестеренный редуктор, ведущий вал которого выполнен в виде проходного вала трансмиссии, а ведомый вал кинематически связан с гидронасосом, поперечные элементы каркаса грузовой тележки выполнить в виде ложементов, на которых установить цистерну, на наружной торцовой поверхности которой смонтировать насосный узел, содержащий гидромотор и кинематически связанную с ним водяную помпу, при этом гидронасос и гидромотор выполнить реверсивными и связать друг с другом гидравлическими линиями, ложементы снабдить впадинами, а

наружную нижнюю поверхность цистерны – выступами для взаимодействия с этими впадинами.

Предложенное схемное решение поливального агрегата поясняется чертежами на рис. 67.

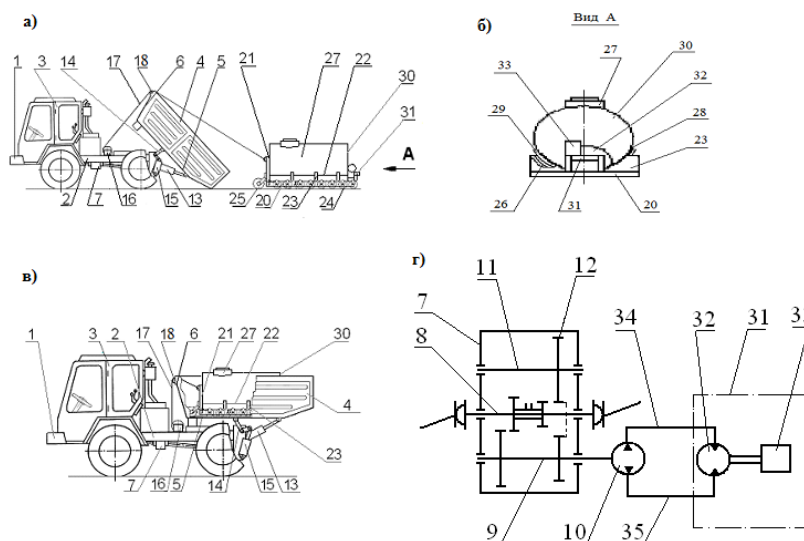


Рис. 67. Поливальный агрегат на базе автотрактора: а – вид сбоку на агрегат при погрузке цистерны; б – вид А; в – вид сбоку на агрегат с цистерной в транспортном положении; г – гидрокинематическая схема привода водяной помпы

При транспортировке воды, затариваемой в цистерну, можно выделить несколько операций технологического цикла работы: погрузка цистерны на автотрактор, заполнение цистерны водой, грузовой ход, опорожнение цистерны, холостой ход, разгрузка тележки с цистерной с автотрактора.

При погрузке тележки 19 с цистерной 27 на автотрактор штоки гидроцилиндров 13 и 15 втянуты и самосвальный кузов 4 находится в погрузочном положении. Задняя кромка днища 5 кузова упирается в опорную поверхность автотрактора, при этом днище кузова получает угол наклона $50-55^{\circ}$ к указанной поверхности. На ложементы каркаса тележки, находящейся на опорной поверхности вблизи автотрактора, при помощи подручных средств устанавливается цистерна так, чтобы ее выступы 29 вошли во впадины 26 ложементов. Намоткой каната 17 на барабан лебедки 16 осуществляется подтягивание тележки с цистерной к автотрактору и последующее затаскивание в кузов. После этого кузов при помощи гидроцилиндров 13 и 15 устанавливается в транспортное положение. Барабан лебедки затормаживается, гидронасос 10 и гидромотор 32 связываются друг с другом гидравлическими линиями 34 и 35, поливной агрегат готов к совершению холостого хода к месту заполнения цистерны водой.

Заполнение цистерны водой осуществляется механизированно. Для этого включается прямой ход в редукторе 7, при котором непосредственно соединены шестерни, установленные на ведущем 8 и ведомом 9 валах. Вращением ведомого вала и кинематически связанного с ним гидронасоса 10 обеспечивается передача мощности гидравлическим путем по линиям 34 и 35 к гидромотору 32.

Кинематически связанная с гидромотором водяная помпа 33 обеспечивает принудительное заполнение цистерны водой из внешнего источника. После заполнения цистерны ведущий и ведомый валы редуктора разобщаются, обеспечивая отключение водяной помпы, поливной агрегат готов к совершению грузового хода к месту назначения.

В месте назначения (на участке полива посадок) производится механизированное опорожнение цистерны. Для этого включается обратный ход в редукторе 7, при котором шестерни, установленные на ведущем и ведомом валах, соединены друг с другом посредством шестерни реверса 12, установленной на промежуточном валу 11. Вращение ведомого вала и кинематически связанного с ним гидронасоса приобретает направление, противоположное тому, которое имеет место в режиме заполнения цистерны. Мощность, передаваемая гидравлическим путем по линиям 34 и 35 к гидромотору, заставляет водяную помпу, кинематически связанную с гидромотором, производить принудительное опорожнение цистерны. По окончании опорожнения цистерны ведущий и ведомый валы редуктора разобщаются, обеспечивая отключение водяной помпы, поливной агрегат готов к совершению холостого хода к месту заполнения цистерны водой.

Описанные операции заполнения и опорожнения цистерны, холостых и грузовых ходов поливного агрегата циклически повторяются при необходимости в транспортировке воды. При исчерпании такой необходимости производится разгрузка тележки с цистерной с автотрактора. Для этого гидравлические линии 34 и 35 отсоединяются от гидронасоса и гидромотора, растормаживается барабан лебедки, штоки гидроцилиндров 13 и 15 втягиваются, самосвальная кузов поворачивается в вертикальной продольной плоскости и его днище получает наклон к опорной поверхности транспортного средства. Привод лебедки включается на размотку каната, и находящаяся в кузове тележка с установленной на ней цистерной под действием гравитационных сил скатывается вниз к опорной поверхности. Затем автотрактор перемещают вперед и выезжают из-под тележки, после чего тележка при помощи подручных средств освобождается от цистерны.

Экономический эффект достигается за счет роста производительности при транспортировке наливных грузов, затаренных в цистерну. Упор кузова в опорную поверхность автотрактора с наклоном днища кузова к этой поверхности под углом 50-55°, применение лебедки с приводом и канатом, запасанным в блок, установленный на передней стенке кузова, и тележки, оборудованной ложементами, облегчают монтаж цистерны на автотрактор и последующий ее демонтаж. Снабжение ложементов впадинами, а наружной нижней поверхности цистерны – выступами для взаимодействия с этими впадинами повышают конструктивную безопасность при движении поливного агрегата. Механизация процессов заполнения и опорожнения большеобъемной тары за счет использования установленного на наружной торцевой поверхности цистерны насосного узла, содержащего гидромотор и кинематически связанной с ним водяной помпы, значительно снижает время и трудозатраты на выполнение этих операций.

Для реализации предложенных конструктивных решений проведены предварительные инженерные расчеты с использованием приведенной ниже методики.

При орошении дождеванием основным показателем, характеризующим работу поливочного агрегата, является средняя интенсивность дождя, определяемая по формуле [93, с. 774]:

$$\rho_{cp} = \frac{60 \cdot Q_{полив}}{F} \text{ мм/мин,} \quad (80)$$

где $Q_{полив}$ – расход воды при поливе, л/с; F – площадь, поливаемая с одной позиции поливального агрегата, м².

Средняя интенсивность дождя должна быть близка к скорости впитывания воды в почву. Скорость впитывания зависит от структуры почвы, ее влажности, механических и химических свойств, вида возделываемой сельскохозяйственной культуры, продолжительности полива, диаметра капель дождя и т.п. Скорость впитывания ориентировочно принимают для тяжелых почв 0,1...0,2 мм/мин; для средних – 0,1...0,2 мм/мин; для легких – 0,5...0,8 мм/мин при диаметре капель дождя не более 1...2 мм. Эксперименты показали, что при интенсивности полива 2 мм/мин и продолжительности полива 11 минут на почве образуются малые лужи.

Площадь F , поливаемая с одной позиции поливального агрегата, может быть определена по формуле:

$$F = 10^3 \cdot k \cdot Q / m, \quad (81)$$

где k – коэффициент использования грузоподъемности; Q – номинальная грузоподъемность автотрактора, т; m – поливная норма, мм.

Коэффициент k учитывает полезный груз и массу тары и может быть принят в данном случае равным $k = 0,8$. Согласно [93, с. 775] поливная норма составляет $m = 30$ мм.

Подставляя данные в формулу (81), получим:

$$F = 10^3 \cdot 0,8 \cdot 1 / 30 = 26,7 \text{ м}^2.$$

Из формулы (80) следует:

$$Q_{полив} = \frac{\rho_{cp} \cdot F}{60}. \quad (82)$$

Принимая среднюю интенсивность дождя 1,0 мм/мин из формулы (82), получим:

$$Q_{полив} = \frac{1,0 \cdot 26,7}{60} = 0,445 \text{ л/с} = 26,7 \text{ л/мин}.$$

При реализации такой подачи воды принятый объем цистерны обеспечит продолжительность полива не более $t_{полив} = 30$ мин.

Время цикла поливального агрегата включает затраты времени на набор воды $t_{набор}$, грузовой ход $t_{грх}$, полив $t_{полив}$ и холостой ход $t_{хх}$:

$$T_{ц} = t_{набор} + t_{грх} + t_{полив} + t_{хх} . \quad (83)$$

Принимая $t_{набор} = t_{полив}$ и учитывая формулы (43) и (44), можно определить время цикла.

Производительность поливочного агрегата составляет:

$$П_{полив} = \frac{F}{10000 \cdot T_{ц}} \text{ га/ч} . \quad (84)$$

Результаты расчетов при $k = 0,8$, $L = 12$ км, $\eta = 0,85$ и $f = 0,07$ сведены в табл. 8.

Таблица 8

Показатели поливального агрегата на базе автотрактора

Параметр	$t_{набор}$, ч	$t_{грх}$, ч	$t_{полив}$, ч	$t_{хх}$, ч	$T_{ц}$, ч	$П$, га/ч	T_p , чел.-ч/га
$f = 0,07$	0,25	0,265	0,5	0,256	1,271	0,00210	476

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Подберите научно-техническую информацию по канатному приводу сельскохозяйственных машин, например, плугов. Проанализируйте достоинства и недостатки канатного привода.

2. Оцените энергоемкость работы основных почвообрабатывающих машин (плуга, культиватора и т.п.).

3. Подберите и изучите описания к патентам на изобретения и полезные модели по плугам с переменной шириной захвата.

4. Из каких внешних источников возможно заполнение цистерны поливального агрегата водой?

5. Задавшись номинальными частотами вращения коленвала двигателя и вала гидронасоса, подберите передаточные числа редуктора привода водяной помпы поливального агрегата (рис. 67).

6. Сформулируйте основные требования к конструкции водяной помпы поливального агрегата.

5. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПРЕДЛОЖЕННОГО КОМПЛЕКСА УСТРОЙСТВ

5.1. Тягово-динамический расчет автотрактора

Наличие транспортных и тяговых эксплуатационных режимов учитывалось при выборе основных параметров автотрактора (передаточных чисел трансмиссии, радиуса ведущих колес, конструктивной массы, грузоподъемности и др.) на основе тяговых расчетов. Так как автотрактор занимает промежуточное положение между грузовым автомобилем и сельскохозяйственным трактором, то при тяговых расчетах использовались методы как теории автомобиля (динамическая характеристика), так и теории трактора (тяговая характеристика). Далее представлены методика и результаты тягово-динамических расчетов автотрактора.

В теории автомобиля широко используется метод динамической характеристики, заключающийся в построении зависимости динамического фактора от скорости движения. Динамический фактор автомобиля рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G}, \quad (85)$$

где P_k – касательная сила тяги, кН; P_w – сопротивление воздуха, кН; G – вес машины, кН.

Вес G рассчитывается по формуле:

$$G = G_э + Q, \quad (86)$$

где $G_э$ – эксплуатационный вес автотрактора, $G_э = 19,1$ кН; Q – рейсовая нагрузка, кН.

Для автотрактора, имеющего максимальную скорость до 50 км/ч, с погрешностью вычислений не более 2% можно принять $P_w \approx 0$. Тогда

$$D = P_k / G, \quad (87)$$

Касательная сила тяги может быть рассчитана двумя способами: “по условиям движения” и “по двигателю”.

Для расчета касательной силы тяги “по условиям движения” рассмотрим силы, действующие на автотрактор при равномерном движении на подъеме, представленные на рис. 68.

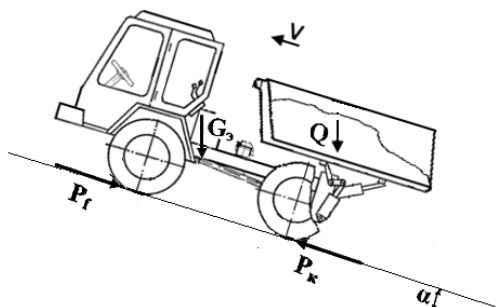


Рис. 68. Схема к расчету касательной силы тяги автотрактора

Уравнение тягового баланса имеет вид:

$$P_k = P_f + (G_s + Q) \cdot \sin \alpha = f(G_s + Q) \cdot \cos \alpha + (G_s + Q) \cdot \sin \alpha, \quad (88)$$

где P_f – сила сопротивления качению, кН; f – коэффициент сопротивления качению автотрактора, см. табл. 9.; α – угол уклона местности.

Выражение для динамического фактора принимает вид:

$$D = f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha. \quad (89)$$

Результаты расчетов динамического фактора и потребной касательной силы тяги для типичных условий эксплуатации автотрактора представлены в табл. 9.

Таблица 9

Параметры условий эксплуатации автотрактора

Условия эксплуатации	f	α , градус	D	P_k , кН	
				Q = 0 кН	Q = 10 кН
Легкие	0,02...0,05	0 ...5	0,02...0,137	0,39...2,69	0,59...4,03
Средние	0,05...0,1	0 ...10	0,05...0,272	0,98...5,34	1,47...8,01
Тяжелые	0,1...0,2	0 ...15	0,1...0,452	1,96...8,87	2,94...13,29

Предварительно были выбраны передаточные числа трансмиссии автотрактора.

Выражая P_k через параметры двигателя, трансмиссии и ходовой части, можно получить для автотрактора:

$$D = \frac{M_e \cdot i_{mp} \cdot \eta_{mp}}{G \cdot r_k}, \quad (90)$$

где M_e – крутящий момент, снимаемый с коленвала двигателя, кН·м; i_{mp} – передаточное число трансмиссии; η_{mp} – КПД трансмиссии; r_k – радиус качения ведущего колеса автотрактора, м.

Расчет скорости движения автотрактора проводится по формуле:

$$V = 3,6 \cdot \frac{n_e \cdot r_k \cdot \pi}{30 \cdot i_{mp}}, \quad (91)$$

где n_e – частота вращения коленвала двигателя, мин^{-1} .

Для расчетов по формулам (90) и (91) необходимо знание внешней скоростной характеристики двигателя. При отсутствии экспериментальных данных проводится теоретический расчет внешней скоростной характеристики двигателя по формулам, рекомендуемым в теории двигателя. Результаты расчетов представляются графически в виде так называемой динамической характеристики “по двигателю”. Результаты расчетов по формуле (89) представляются графически в виде так называемой динамической характеристики “по условиям движения”. Объединяя обе динамические характеристики, можно получить динамический паспорт.

Динамический паспорт автотрактора конструкции РИИ АлтГТУ, рис. 69, построенный при номинальной рейсовой нагрузке, содержит два квадранта:

– в правом квадранте представлена динамическая характеристика “по двигателю”;

– в левом квадранте представлены зависимости динамического фактора от угла подъема местности и коэффициентов сопротивления движению при легких, средних и тяжелых условиях (динамическая характеристика “по условиям движения”).

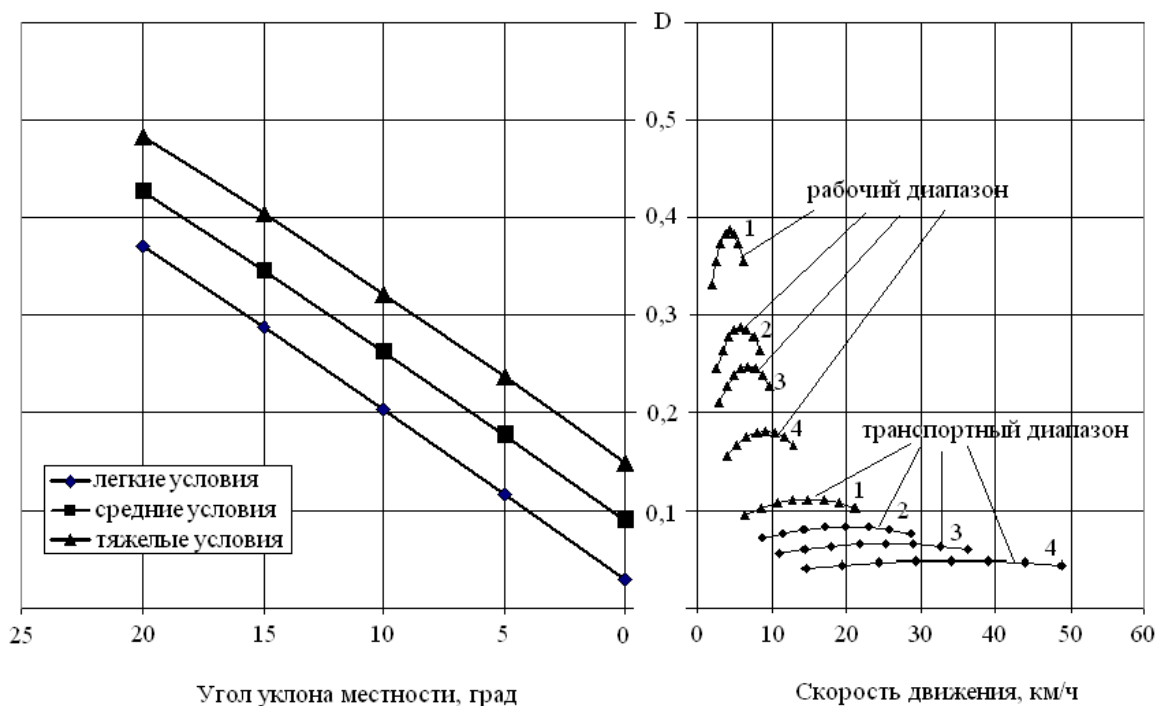


Рис. 69. Динамический паспорт автотрактора при номинальной рейсовой нагрузке

При равенстве значений динамического фактора, взятых в правом и в левом квадрантах, автотрактор движется равномерно с данной скоростью в заданных условиях. Так, наглядно видно, что движение автотрактора с номинальной рейсовой нагрузкой в средних условиях возможно при уклоне местности 16° (включена первая передача рабочего диапазона трансмиссии).

Очевидно, что в реальных условиях автотракторы могут эксплуатироваться с рейсовыми нагрузками, уровень которых меньше номинальных. При этом для анализа эксплуатационных режимов целесообразно использовать усовершенствованный вариант динамического паспорта автотрактора, см. рис. 70, в котором наряду с динамическими характеристиками “по двигателю” и “по условиям движения” содержится номограмма нагрузки (левый квадрант).

Номограмма нагрузок построена следующим образом. Параллельно оси абсцисс динамической характеристики влево от шкалы D отложен отрезок произвольной длины. На этом отрезке нанесена шкала нагрузки в процентах.

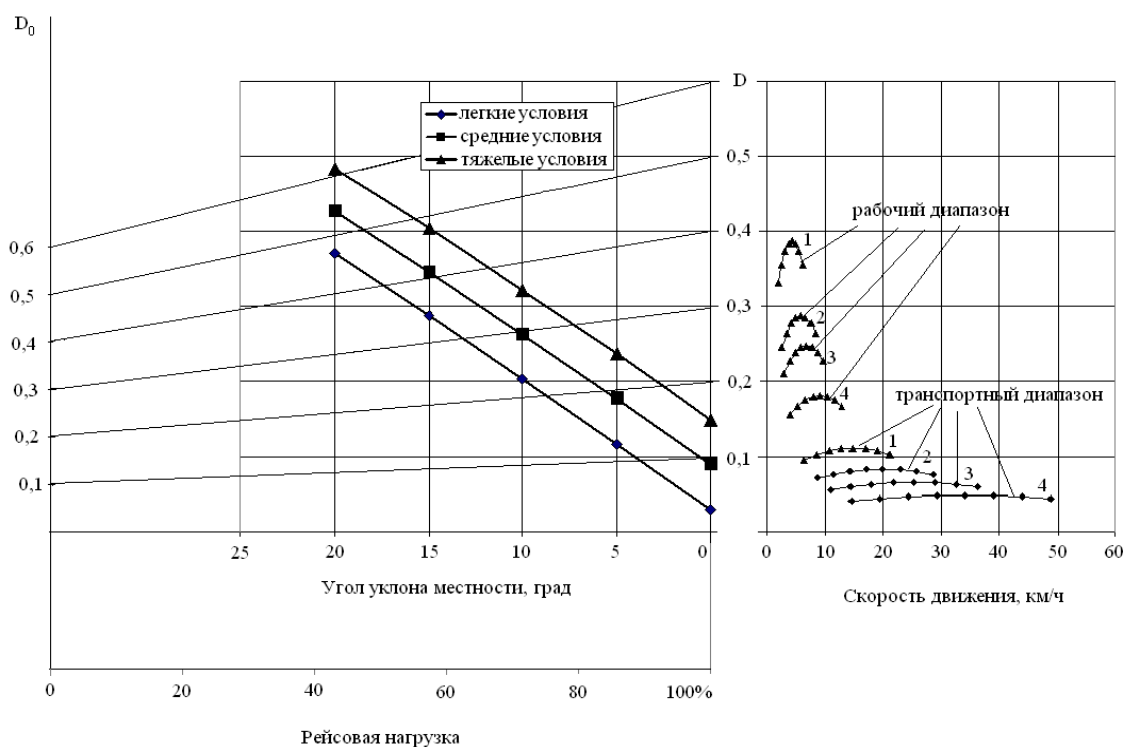


Рис. 70. Динамический паспорт автотрактора с номограммой рейсовой нагрузки

Через нулевую точку шкалы нагрузок проведена прямая, параллельная оси D , и на ней нанесена шкала динамического фактора D_0 для автотрактора без нагрузки. Масштаб для этой шкалы определен по формуле:

$$a_0 = a \cdot M_0 / M_{\Sigma}, \quad (92)$$

где a_0 – масштаб шкалы динамического фактора для автотрактора без нагрузки; a – то же для автотрактора с полной нагрузкой; M_0 – собственная масса автотрактора в снаряженном состоянии, кг; M_{Σ} – полная масса автотрактора с учетом номинальной рейсовой нагрузки, кг.

Равнозначные деления шкал D и D_0 (например, 0,1; 0,2 и т.д.) соединены прямыми линиями.

Используя динамический паспорт с номограммой рейсовой нагрузки, можно определить, например, что равномерное движение автотрактора в средних условиях при угле уклона местности 16° возможно при нагрузке, равной 40% от номинальной, на второй передаче рабочего диапазона трансмиссии, а при нагрузке 20% от номинальной – на третьей передаче того же диапазона.

Таким образом, разработанный динамический паспорт позволяет формулировать рекомендации по величинам рейсовых нагрузок и скоростей движения автотрактора ЭМ-0,6 при транспортировке грузов в конкретных эксплуатационных условиях крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйств.

5.2. Моделирование производственного процесса погрузки

С целью расширения функциональных возможностей фермерского автотрактора в режиме погрузочно-транспортного средства предложено снабдить его механизмом погрузки-разгрузки со съемной стрелой-фермой, устанавливаемой на грузовую платформу путем жесткого прикрепления ее к боковым стенкам кузова. Полученная малогабаритная погрузочно-транспортная машина (МПТМ) позволяет наряду с самопогрузкой обеспечить погрузку затаренных грузов на любое другое транспортное средство: грузовой автомобиль или прицеп.

Технологическая схема процесса погрузки МПТМ затаренного груза на другое транспортное средство представлена на рис. 71.

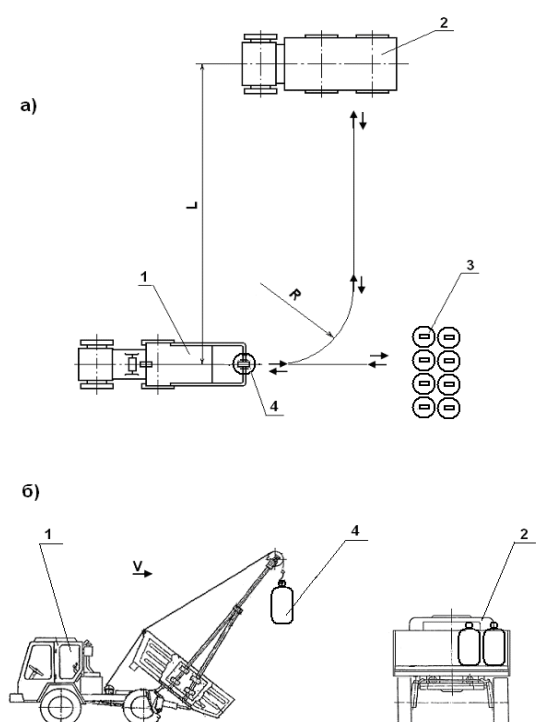


Рис. 71. Технологическая схема процесса погрузки МПТМ затаренного груза на транспортное средство: а – вид в плане, б – вид сбоку; 1 – МПТМ, 2 – транспортное средство, 3 – штабель затаренного груза, предназначенного для погрузки, 4 – единственный затаренный груз на гибком подвесе

В данном случае МПТМ работает циклически: двигаясь из исходного положения задним ходом, МПТМ подъезжает к штабелю 3 затаренного груза, предназначенного для погрузки, закрепляет единственный затаренный груз 4 на гибком подвесе стрелы, отъезжает передним ходом от штабеля, а затем, маневрируя на передачах заднего хода по сложной траектории, характеризуемой параметрами R и L , подъезжает к транспортному средству 2, подает груз 4 в кузов транспортного средства. После отцепки груза 4 МПТМ передним ходом по той же траектории возвращается в исходное положение, а

затем цикл повторяется необходимое число раз. Продолжительность цикла, зависящая от ряда параметров (R , L , скорости движения V , массы единичного затаренного груза, погрузочной высоты транспортного средства и др.), в значительной степени влияет на производительность погрузки затаренных грузов на транспортное средство.

Для решения задач моделирования и оптимизации режимов погрузки затаренного груза разработана методика, последовательность и взаимосвязь этапов которой представлены на рис. 72.

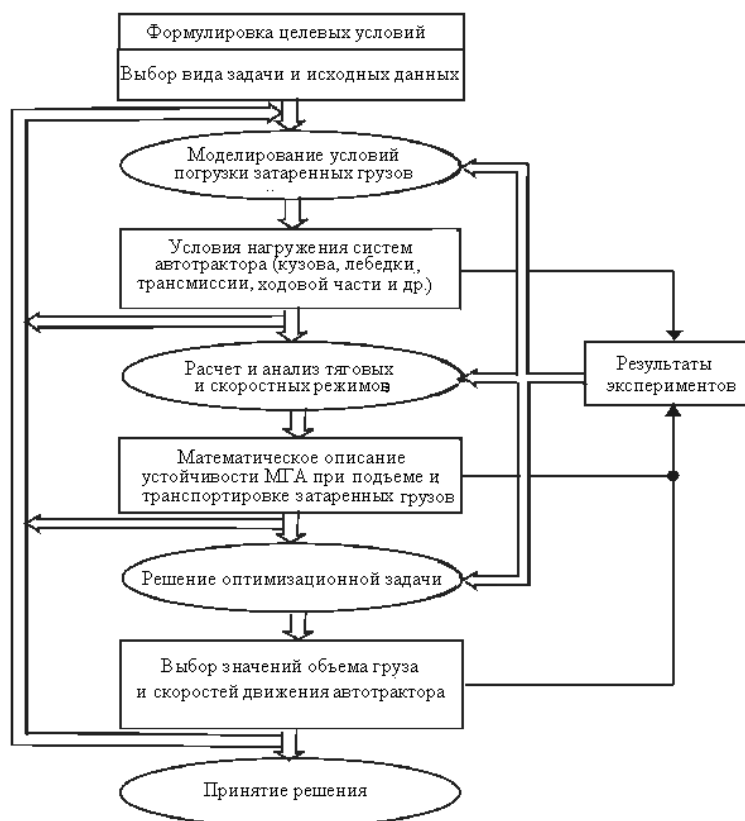


Рис. 72. Последовательность и взаимосвязь этапов методики моделирования и оптимизации режимов автотрактора при погрузке затаренного груза на транспортное средство

С целью выработки рекомендаций по режимам погрузки проведем анализ динамики движения МПТМ, используя методику, изложенную в [67].

При передвижении пневмоколесной МПТМ с грузом на крюке преодолеваемые при этом неровности пути вызывают имеющие случайный характер колебания масс конструкции машины и груза, что должно учитываться в расчетах устойчивости против опрокидывания.

Для вероятностной оценки устойчивости МПТМ против опрокидывания при передвижении целесообразно использовать физически обоснованный «энергетический» подход. Такой подход, предложенный в [100], позволяет ограничиться изучением энергетического состояния системы МПТМ-груз в процессе передвижения, не рассматривая перемещение МПТМ вокруг ребра опрокидывания.

Результаты предварительных исследований позволили заключить: взаимные колебания масс металлоконструкций МПТМ практически не влияют на процесс перемещения системы МПТМ–груз вокруг ребра опрокидывания; пневмоколесную МПТМ можно рассматривать как твердое тело, установленное на линейно-упругом основании, реакции которого локализованы в местах крепления колес, а груз – как материальную точку, присоединенную к точке подвеса невесомым жестким стержнем; микропрофиль пути передвижения крана может быть представлен в виде стационарной гауссовской случайной функции, автокорреляционная функция которой аппроксимируется экспонентой.

В соответствии с этим пневмоколесную МПТМ с грузом на крюке будем рассматривать как линейную двухмассовую упругодинамическую модель, находящуюся под действием кинематического возмущения, которое описывается стационарным гауссовским случайным процессом (рис. 73).

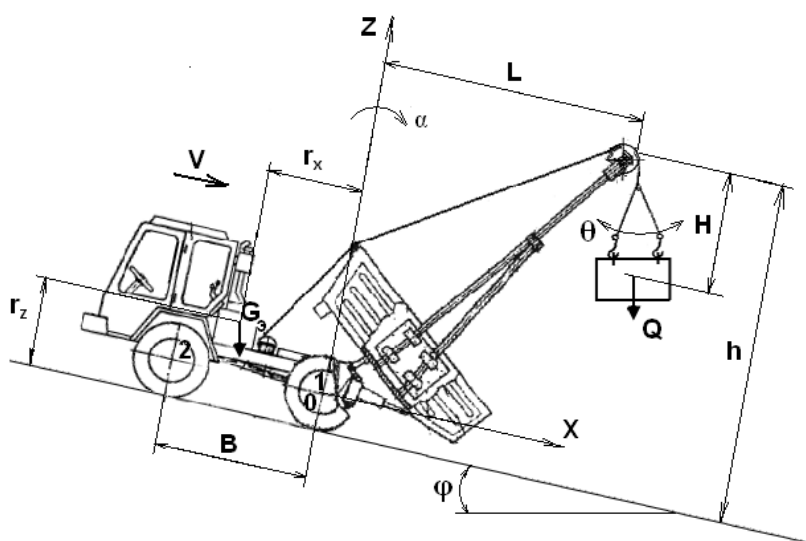


Рис. 73. Расчетная схема МПТМ при движении с единичным грузом

Допустим, что в состоянии покоя система МПТМ–груз обладает потенциальной энергией U_0 , обусловленной положением масс и деформацией упругих односторонних (неудерживающих) связей. Пуск механизма передвижения приводит к возбуждению колебаний, вызываемых разгоном МПТМ и преодолением неровностей пути. Вследствие этого система приобретает дополнительную энергию E , которая в определенных условиях (например, при резком торможении механизма передвижения) может совершить работу по опрокидыванию МПТМ. Очевидно, что МПТМ не опрокинется, если

$$E < U_p - U_0, \quad (93)$$

где U_p – потенциальная энергия системы МПТМ–груз в положении неустойчивого равновесия.

Положение неустойчивого равновесия, определяемое равенством удерживающего и опрокидывающего статических моментов, естественно рассматривать как предельное состояние при расчете устойчивости.

Из энергетических соображений с учетом вероятностного характера процесса получаем критерий устойчивости, являющийся условием ненаступления указанного предельного состояния с вероятностью не ниже P_{on}^- , в виде

$$P_{on} \{ \dot{E} > U_p - U_o | 0 \leq t \leq T \} \geq P_{on}^-, \quad (94)$$

где P_{on} – вероятность события, заключающегося в том, что за время передвижения $0 \leq t \leq T$ произойдет хотя бы один выброс функции $F(t) = E(t)$ за границу $U_p - U_o$; P_{on}^- – допустимая вероятность этого события, значение которой назначается исходя из экономического анализа.

Рассмотрим плоскопараллельное движение системы МПТМ-груз в плоскости подвеса стрелы. В рассматриваемом случае потенциальная энергия системы МПТМ – груз как двухмассовой системы с двумя степенями свободы записывается с учетом сил тяжести машины G_3 и груза Q , координат их центров масс, жесткости передних и задних опор автотрактора, аппликата микропрофиля пути под передними и задними колесами. Численные значения потенциальной энергии подсчитываются по формулам, приводимым в технической литературе.

Затем определяется та часть полной кинетической энергии системы МПТМ-груз, которая способна совершить работу по опрокидыванию автотрактора в плоскости подвеса стрелы. Численные значения кинетической энергии подсчитываются с учетом момента инерции машины относительно оси, проходящей через центр масс автотрактора перпендикулярно плоскости чертежа. Динамические нагрузки в значительной степени зависят от высоты микропрофиля поверхности движения, угла φ уклона местности и линейной скорости V автотрактора.

Проведенные расчеты позволяют гарантировать с вероятностью $p > 0,99$, что автотрактор сохраняет устойчивость при движении со скоростью $V = 0,87$ м/с (первая передача заднего хода) по полю с углом уклона до 3° и средней высоте микронеровностей 0,03 м.

Следует отметить, что расчеты носят предварительный характер ввиду применения недостаточно надежных исходных данных, поскольку конструкторская документация на ряд узлов пока не разработана. Целесообразно после проведения соответствующих работ на стадии технического проекта по машинам на базе автотрактора повторить расчеты по уточненным данным.

5.3. Моделирование нагрузочных режимов ходовой части

Учитывая новизну предложенных конструкций средств погрузки-разгрузки, целесообразно провести исследования по выявлению зависимостей, связывающих параметры названных средств с конструктивными параметрами и режимами использования автотрактора. Критерии оптимальности предложенных конструкций могут быть получены при исследовании управляемости, устойчивости, проходимости и других эксплуатационных свойств автотрактора.

Важным элементом практически всех названных исследований являются нагрузочные режимы ходовой части [41].

Для экспериментального определения реакций, действующих на колеса ведомого R_{Π} и ведущего R_3 мостов автотрактора, могут быть использованы известные методы, например, с использованием напольных весов, устанавливаемых под каждым колесом.

Изменение внешних технологических нагрузок на автотрактор предложено имитировать посредством балластных грузов (бетонных или металлических блоков), удерживаемых канатом лебедки на днище самосвального кузова. При этом сам кузов удерживается при помощи гидропривода в положении, промежуточном между транспортным (когда кузов уложен на раму шасси автотрактора) и загрузочным (когда кузов задней кромкой днища уперт в грунт), рис. 74.

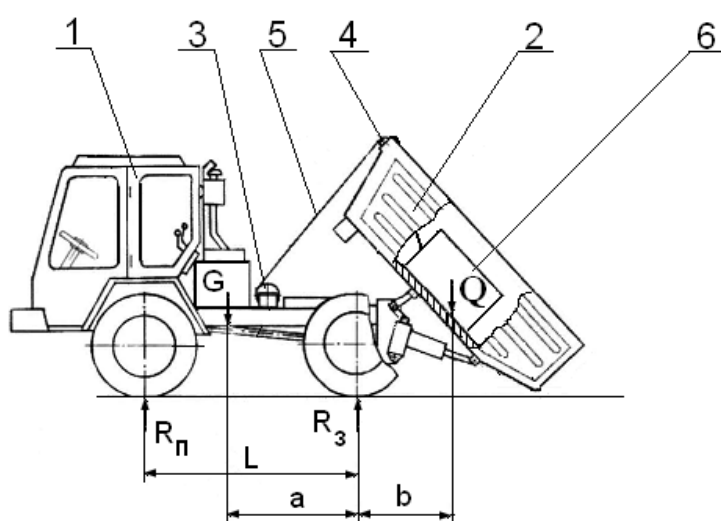


Рис. 74. Удержание балластного груза в самосвальном кузове с помощью каната лебедки:

- 1 – автотрактор; 2 – самосвальный кузов; 3 – лебедка с приводом;
4 – блок на передней стенке кузова; 5 – канат; 6 – балластный груз

Согласно представленной на рис. 74 расчетной схеме теоретические значения реакций R_{Π} и R_3 могут быть определены по формулам:

$$R_{\Pi} = (G \cdot a - Q \cdot b) / L, \quad (95)$$

$$R_3 = G + Q - R_{\Pi}, \quad (96)$$

где G – эксплуатационный вес автотрактора; Q – вес балластного груза; a , b – плечи сил G и Q относительно точки контакта ведущего колеса с грунтом; L – продольная база автотрактора.

Найденные теоретические значения реакций R_{Π} и R_3 , построенные в виде номограммы на рис.75, использовались для предварительного прогноза экспериментальных данных и составления программы испытаний.

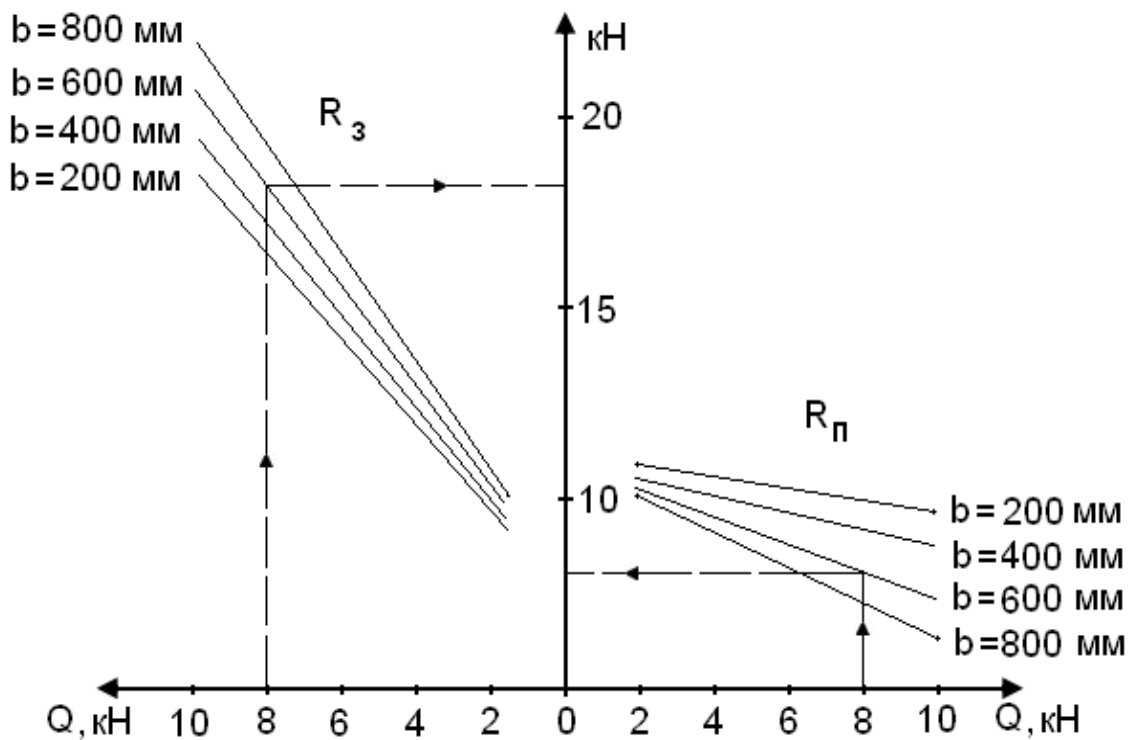


Рис. 75. Теоретические значения реакций $R_п$ и R_3 (ключи для пользования номограммой показаны при грузе $Q = 8$ кН и плече $b = 600$ мм)

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Какие эксплуатационные задачи можно решать с использованием динамического паспорта автотрактора?
2. Подберите данные по значениям аппликат микропрофиля пути под передними и задними колесами автотрактора для типовых условий передвижения.
3. Как определяются значения моментов инерции машины относительно осей, проходящих через центр масс автотрактора?
4. Предложите способ экспериментального определения реакций, действующих на колеса ведомого и ведущего мостов автотрактора.
5. Как при испытаниях определить усилие в канате лебедки автотрактора?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современном сельскохозяйственном производстве России в целом и Алтайского края в частности значительную роль играют КФХ и ЛПХ. В то же время механизация работ в этих видах хозяйств в силу их экономической слабости находится на низком уровне. В этих условиях вызывает интерес применение малогабаритной техники многофункционального назначения. В ряде организаций страны (НАМИ, МГАУ, РИИ АлтГТУ и др.) проводятся работы по созданию такой техники для КФХ и ЛПХ.

Испытания первых опытных образцов малогабаритных транспортно-технологических машин на базе колесного автотрактора ЭМ-0,6, разработанного в РИИ АлтГТУ, выявили необходимость продолжения работ в направлении повышения проходимости в тяжелых грунтовых условиях и обеспечения самопогрузки-разгрузки.

В 2008...2014 годах в РИИ АлтГТУ проведены разработки, позволившие решить на патентном уровне (около 20 патентов и заявок на предполагаемые изобретения и полезные модели) основные вопросы по проблеме обеспечения проходимости и самопогрузки-разгрузки малогабаритных транспортно-технологических машин на базе автотрактора ЭМ-0,6. Представленные в настоящем учебном пособии схемные решения по ряду устройств самопогрузки-разгрузки (малогабаритный трелевочный трактор усовершенствованной конструкции, сеноуборочный агрегат, механизм порционной разгрузки кузова и др.) получили необходимое теоретическое обоснование.

В целом, предлагаемый комплекс устройств позволяет по предварительной оценке поднять производительность труда не менее чем в 1,2 ...1,9 раза (в зависимости от вида работ). При этом по своей стоимости комплекс устройств, обладающих высоким уровнем узловой унификации, доступен для большинства экономически слабых КФХ и ЛПХ, остро нуждающихся в малогабаритной технике, производительной, относительно недорогой и неэнергоемкой.

Затронутые в учебном пособии проблемы механизации работ в КФХ и ЛПХ достаточно сложны и в ряде случаев еще ждут своего решения, всесторонней теоретической проработки и практической реализации. Очевидно, что определенный вклад в решение этих проблем может быть внесен студентами всех форм обучения при курсовом и дипломном проектировании в процессе поиска новых технических решений и обоснования конструкций. И если настоящее учебное пособие хотя бы в некоторой степени стимулирует указанный поиск, то авторы считают свою задачу выполненной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батуев Ц.Т., Хлебодаров И.Д., Пехутов А.С. Перспективные транспортно-технологические машины для сельского хозяйства // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2013. – №3 (32). – С.147-150.
2. Беккер М.Г. Введение в теорию систем «местность-машина». – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
3. Бессонов А.А., Войнаш А.С., Ситников В.Р. К вопросу обоснования параметров самосвального кузова малотоннажного грузового автомобиля // Междунар. науч.-техн. конф. “Проблемы автоматизации и технологии в машиностроении”: Сб. тез. докл. – Рубцовск, 1994. – С.39-41.
4. Богдановский В.А. Техническая оснащенность и производительность труда в личных подсобных хозяйствах // Техника и оборудование для села. – 2008. – №7. – С.6-7.
5. Бородина Е.Н. Крестьянские (фермерские) хозяйства в России и за рубежом // Техника и оборудование для села. – 2006. – №8. – С.2-3.
6. Бурдин В.В., Гамалеев П.П., Жихарев В.Л., Ситников В.Р. Алтайские малогабаритные тракторы // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1994. – №5. – С.25-26.
7. Войнаш А.С. Малотоннажные транспортные средства для крестьянских хозяйств лесостепной зоны Алтайского края // Совершенствование систем автомобилей, тракторов и агрегатов: Материалы II международной конференции / Под ред. д.т.н., проф., академика А.Л. Новоселова / Академия транспорта РФ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Издательство АлтГТУ, 2000. – С.18-21.
8. Войнаш А.С. Семейство малогабаритных тягово-транспортных средств для фермерских хозяйств лесостепи / Труды Рубцовского индустриального института. Вып.17 – Технические науки. Под ред. А.А. Апполонова, Э.С. Маршалова. – Рубцовск, 2007. – С.12-17.
9. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Автотрактор для фермерских хозяйств // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. – С.19-23.
10. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Двухосный автотрактор тягового класса 0,6 и семейство транспортно-технологических машин на его базе // Информационный листок ИЛ 22-001-10 / Алтайский ЦНТИ. – Барнаул, 2010. – 5 с.
11. Войнаш А.С., Жарикова Т.А., Войнаш С.А. Транспортные скорости малогабаритных агрегатов для лесостепной зоны / Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19-20 апреля 2007 г. Часть I / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2007. – С.63-64.

12. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Малотоннажное транспортное средство / Проектирование специальных машин для освоения горных территорий: Материалы международной научно-практической конференции, 5-6 октября 2011 г. / Горский государственный аграрный университет. – Владикавказ, 2011. – С.45-47.

13. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Погрузочно-транспортное средство на базе двухосного автотрактора класса 0,6. Информационный листок ИЛ 22-003-12 // Алтайский ЦНТИ. – Барнаул, 2012. – 4 с.

14. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Транспортное средство на базе двухосного автотрактора класса 0,6. Информационный листок ИЛ 22-002-12 // Алтайский ЦНТИ. – Барнаул, 2012. – 5 с.

15. Войнаш А.С., Войнаш С.А., Жарикова Т.А. Мобильные транспортные средства на базе автотрактора // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, 10-12 сентября 2012 г., г. Углич / Часть 2. – Москва, 2012. – С.194-199.

16. Войнаш А.С., Войнаш С.А., Жарикова Т.А. Механизация транспортировки картофеля с поля при малых формах хозяйствования // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина (Москва, ВИМ, 17-18 сентября 2013 г.). Ч. 2. – М.: ВИМ, 2013. – С.189-191.

17. Войнаш А.С., Жарикова Т.А. Погрузочно-разгрузочное устройство для семейства малогабаритных тягово-транспортных машин / Новые материалы и технологии в машиностроении: Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции 23-24 ноября 2006 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2006. – С.67-69.

18. Войнаш С.А. Анализ уровня мощности механизмов транспортно-технологической тележки с канатным приводом // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XVI всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 25-26 апреля 2014 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014. – С.94-96.

19. Войнаш С.А. Анализ эксплуатационных нагрузок малогабаритного трелевочного трактора / Международная научно-техническая конференция «Наука, образование, инновации: приоритетные направления развития» // Известия Кыргызского государственного технического университета им.И. Раззакова. – 2014. – №32.

20. Войнаш С.А. Канатно-аппарельный привод сельхозмашин малой размерности // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XVI всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 25-26 апреля 2014 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014. – С.91-94.

21. Войнаш С.А. Влияние компоновочной схемы колесного энерго модуля на сопротивление качению / Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XI всероссийской науч.-технич. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 23-24 апреля 2009 г. Часть I / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2009. – С.128-130.

22. Войнаш С.А. Особенности организации поста управления автотрактора // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: международная научно-техническая конференция (2012, Москва, МГТУ «МАМИ»). Сборник материалов 77-й международной научно-технической конференции (27 марта 2012 г.) – М., 2012. – С.156-158.

23. Войнаш С.А. Мини-грузовики сельскохозяйственного назначения // Научное творчество студентов и сотрудников факультета энергомашиностроения и автомобильного транспорта: Сборник тезисов и докладов: 69-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета. Часть 1 / АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2011. – С.29-31.

24. Войнаш С.А. Особенности решения проблемы механизации работ при малых формах хозяйствования в лесостепных районах России // Технология колесных и гусеничных машин – Technology of Wheeled and Tracked Machines. – 2013. – №1. – С.18-21.

25. Войнаш С.А. Малотоннажный грузовой автомобиль для подсобных хозяйств населения / Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновация – вектор для молодежи» // Известия Кыргызского государственного технического университета им.И. Раззакова. – 2014. – №31. – С.126-129.

26. Войнаш С.А. Снижение энергоемкости поворота машины с полугусеничным ходом // Энергоэффективные технологии в транспортных системах будущего. Международная молодежная конференция: Сборник тезисов и статей Международной молодежной конференции / МГТУ «МАМИ». – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – С.8-10.

27. Войнаш С.А., Буткевич Е.О. Разработка колесного транспортно-технологического средства для крестьянских (фермерских) хозяйств / Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых по нескольким междисциплинарным направлениям, г. Новочеркасск, октябрь-ноябрь 2011 г. / Мин-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2011. – С.131-133.

28. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Анализ концептуальных подходов к решению проблемы механизации работ в крестьянских (фермерских) хозяйствах // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №3. – С.51-55.

29. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Механизация работ в крестьянском (фермерском) хозяйстве / Проблемы и перспективы устойчивого развития АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию кафедры экономики и организации предприятий АПК; Под ред. И.Л. Воротникова. – ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2011. – С.56-58.

30. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Мини-грузовик для фермеров // Молодежь. Наука. Будущее: технологии и проекты: материалы международной науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, 21-22 октября 2011 г.: в 3 т. Т. 1. – Казань: Изд-во «Познание» Института экономики, управления и права, 2012. – С.353-356.

31. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Особенности проектирования колесного малогабаритного трелевочного трактора // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №11. – С.21-23.

32. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Повышение проходимости автотрактора // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции. Екатеринбург: УрФУ, 2011. – С.43-45.

33. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Погрузка штучных и затаренных грузов в крестьянском (фермерском) хозяйстве // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19-20 апреля 2011 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2011. – С.114-116.

34. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Снижение затрат мощности при повороте машины с полугусеничным ходом / Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы I Всероссийской научно-технической конференции 23-25 ноября 2011 г. / Под ред. к.т.н., профессора А.Н. Площаднова / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2011. – С.372-375.

35. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Транспортировка молока в крестьянском (фермерском) хозяйстве // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19-20 апреля 2011 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2011. – С.109-110.

36. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Транспортно-технологическая машина для внесения органических удобрений // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – №12. – С.12-14.

37. Войнаш С.А., Войнаш А.С., Демидов А.С. Повышение проходимости и маневренности фермерского малотоннажного грузовика // Транспорт Урала. – 2014. – №3. – С.86-89.

38. Войнаш С.А., Войнаш А.С., Жарикова Т.А. Моделирование нагрузочных режимов ходовой части автотрактора // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 26-27 апреля 2012 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2012. – С.79-80.

39. Войнаш С.А., Войнаш А.С., Жарикова Т.А. Пахотный агрегат на базе малогабаритного автотрактора // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №8. – С.15-16.

40. Войнаш С.А., Войнаш А.С., Жарикова Т.А. Технологическое использование автотрактора на передачах заднего хода / Материалы X юбилейной Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса» // Леса России и хозяйство в них – №1-2 (42-43), 2012. – С.26-27.

41. Войнаш С.А., Жарикова Т.А., Войнаш А.С., Зейгерман А.С. Анализ динамики движения автотрактора с грузом / Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы II Всероссийской научно-технической конференции 23-24 ноября 2012 г. / Под ред. к.т.н., доцента А.В. Шашка / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2012. – С.118-122.

42. Войнаш С.А., Войнаш А.С., Жарикова Т.А., Зейгерман А.С. Фермерский грузовик с самосвальным кузовом аппаратного типа / Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 кн. / VIII Международная научно-практическая конференция (6-7 февраля 2013 г.). Барнаул: РИО АГАУ, 2013. Кн. 3. – С.32-34.

43. Войнаш С.А., Жарикова Т.А., Войнаш А.С., Площаднов А.Н. Механизация транспортировки рулонного сена / Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы II всероссийской научно-технической конференции 23-24 ноября 2012 г. / Под ред. к.т.н., доцента А.В. Шашка / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2012. – С.122-126.

44. Войнаш С.А., Жарикова Т.А., Фрицлер А.Я., Войнаш А.С. Разработка мобильной техники для малых форм хозяйствования лесостепной зоны Алтайского края // Труды Рубцовского индустриального института: Выпуск 21 / Под ред. А.А. Апполонова / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. – С.45-51.

45. Войнаш С.А., Фрицлер А.Я. Разработка транспортного малотоннажного средства с устройствами самопогрузки-разгрузки грузов для крестьянских (фермерских) хозяйств // Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского смотра-конкурса научно-технического творчества студентов вузов «ЭВРИКА», г. Новочеркасск, май-июль 2012 г. / Мин-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.(НПИ). – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – С.233-235.

46. Галкин С.Н., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г., Евтюшенков Н.Е. Агротехнические и технологические параметры автомобилей с.-х. назначения // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – №5. – С.3-6.

47. Ганжа В.А., Кайзер Ю.Ф., Ковалевич П.В. Универсальные транспортно-технологические машины для сельского хозяйства // Вестник КрасГАУ. – 2013. – №8. – С.137-142.

48. Гуряков М.В., Поляков Н.Н. Малогабаритная сельскохозяйственная техника: Справочник. – М.: Машиностроение, 1994. – 160 с.

49. Дзоценидзе Т.Д. Обоснование конструктивных параметров для разработки технического задания на опытные образцы малогабаритных

транспортных средств // Тр. НАМИ. Автомобили, двигатели и их компоненты. Вып. 239. – М.: Изд. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2008. – С.112-126.

50. Дзоценидзе Т.Д. Обоснование параметров малогабаритных транспортных средств сельскохозяйственного назначения с широкими функциональными возможностями: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. – М.: МГАУ, 2009. – 33 с.

51. Дзоценидзе Т.Д. Особенности товаропроизводства в КФХ и ЛПХ и создание грузовых автомобилей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – №5. – С.3-8.

52. Дзоценидзе Т.Д. Проблема создания новых средств развития транспортной инфраструктуры и пути ее решения // Грузовик &. – 2008. – №8. – С.14-15.

53. Дзоценидзе Т.Д. Разработка концепции создания семейства малогабаритных транспортных средств на основе локализации и синтеза основных технических требований // Грузовик &. – 2008. – №9. – С.25-31.

54. Дзоценидзе Т.Д. Создание малогабаритных транспортных средств для сельского хозяйства // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2009. – №1. – С.54-58.

55. Дзоценидзе Т.Д. Транспортное обеспечение – важная составляющая развития предприятий АПК // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – №11. – С.45-48.

56. Дзоценидзе Т.Д. Утилитарный грузопассажирский легковой автомобиль для жителей сельских поселений // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №2. – С.7-11.

57. Дзоценидзе Т.Д., Есеновский-Лашков Ю.К. Результаты государственных приемочных испытаний малогабаритных транспортных средств с широкими функциональными возможностями // Международный научный журнал. – 2008. – №3. – С.5-15.

58. Дзоценидзе Т.Д., Козловская М.А. Технологический уклад и транспортное обеспечение сельхозпроизводства некоторых зарубежных стран // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №1. – С.44-47.

59. Дзоценидзе Т.Д., Козловская М.А., Загарин Д.А., Журавлев А.В., Кабанин П.А. Автомобильный транспорт для малых форм хозяйствования. Конструкция и особенности эксплуатации. Монография. – М.: ЗАО «Металлургиздат», 2011. – 288 с.

60. Дзоценидзе Т.Д., Козловская М.А., Кабанин П.А., Логинов К.Ю. Новое семейство транспортных средств социального назначения для сельских территорий // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – №12. – С.12-16.

61. Дзоценидзе Т.Д., Пономарев А.К., Москвинов А.Б. Разработка научных основ создания новых средств развития транспортной инфраструктуры на примере перспективных грузовых автомобилей высокой проходимости // Грузовик &. – 2008. – №7. – С.20-27.

62. Долгошеев А.М., Хвостов В.А. Комплекс машин для механизации работ в условиях семейного подряда // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – №10. – С.2-5.

63. Жарикова Т.А., Дмитриева М.М., Войнаш А.С. Погрузочно-транспортная машина на базе энергомодуля ЭМ-0,6 // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы V Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов 15-16 мая 2003 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2003. – С.112-115.
64. Загарин Д.А. Колесная транспортно-тяговая машина сельскохозяйственного назначения для перевозки грузов // Международный научный журнал. – 2010. – №4. – С.48-53.
65. Загарин Д.А. Обоснование параметров и режимов работы малогабаритного транспортного средства для малых форм хозяйствования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – М.: МГАУ, 2010. – 16 с.
66. Загарин Д.А., Дзоценидзе Т.Д. Моделирование параметров колесной транспортно-тяговой машины с учетом эксплуатации в условиях КФХ и ЛПХ // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – №10. – С.33-36.
67. Зайцев Л.В., Зарецкий А.А., Севериновский М.Л. К расчету устойчивости пневмоколесных кранов // Строительные и дорожные машины. – 1984. – №8. – С.19-22.
68. Иванов В.В. О продольной устойчивости и управляемости колесных тракторов с навесными орудиями в транспортном положении // Тракторы и сельхозмашины. – 1970. – №8. – С.15-18.
69. Ипатов А.А. Формирование эксплуатационно-экономических требований к перспективным моделям грузовых автомобилей. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2003. – 236 с.
70. Ипатов А.А. Создание новых средств развития транспортной инфраструктуры. Проблемы и решения / А.А. Ипатов, Т.Д. Дзоценидзе. – М.: Металлургиздат, 2008. – 272 с.
71. Ипатов А.А., Дзоценидзе Т.Д., Минкин И.М., Пономарев А.К., Загарин Д.А. Первый в мире типаж мобильных малогабаритных АТС для сельского хозяйства // Автомобильная промышленность. – 2008. – №10. – С.10-13.
72. Келлер Н.Д. Малая механизация и основы мелкоконтурного земледелия // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – №11. – С.51-52.
73. Козловская М.А. Обоснование схемы силового привода трехосного грузового автомобиля малой размерности сельскохозяйственного назначения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – М.: МГАУ, 2010. – 16 с.
74. Козловская М.А., Дзоценидзе Т.Д. Теоретическая оценка эксплуатационной эффективности схемы силового привода автомобиля сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – №10. – С.36-38.
75. Мешков П.И. НАМИ – вклад в возрождение села // Журнал автомобильных инженеров. – 2006. – №5. – С.4-6.
76. Мобильные малогабаритные транспортные средства для сельского хозяйства // Техника и оборудование для села. – 2007. – №12. – С.22-23.

77. Нарadowый Д.И. Повышение эффективности тракторного транспортного агрегата на базе трактора кл.0,2 “Уралец” в сельскохозяйственном производстве совершенствованием его схемы и параметров. Дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск: ФГБОУ ВПО ЧГАА, 2014. – 149 с.

78. Определение запасов прочности и допускаемых напряжений: руководящие материалы по расчетам на прочность и жесткость. – М.: НИИ тракторосельхозмаш, 1976. – 55 с.

79. Осыкина Е.В., Войнаш С.А., Жарикова Т.А., Войнаш А.С. К вопросу погрузки затаренных грузов стрелой автотрактора // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XV Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 26-27 апреля 2013 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. – С.137-139.

80. Осыкина Е.В., Войнаш С.А., Жарикова Т.А., Войнаш А.С. Мягкая тара для сельскохозяйственных грузов // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XV Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 26-27 апреля 2013 г. / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. – С.139-142.

81. Новый Алтай – 2012. Каталог проектов: в 7 ч. / под общ. ред. М.П. Щетинина. – Ч. 3: Машиностроение и металлообработка. – Барнаул: Литера, 2012. – 47 с.

82. Рёсслер Г. Основные соображения относительно системы «Унимог и рабочие органы» и их конструкционное и практическое осуществление / Докл. на выставке фирмы «Даймлер-Бенц» в Москве, 1973. – 30 с.

83. Рыжикова А.Г. Трактор “Унимог” // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1963. – №3. – С.47.

84. Ситников В.Р. Концепция создания малогабаритного энергомодуля // Проблемы автоматизации и технологии в машиностроении: Тезисы докладов международной науч.-технич. конференции. – Рубцовск: РИИ АлтГТУ, 1994. – С.238-240.

85. Ситников В.Р. Малогабаритные тягово-транспортные средства. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. – 224 с.

86. Ситников В.Р. Обоснование показателей малогабаритного многоцелевого энергомодуля в составе сельскохозяйственных агрегатов: диссертация ... доктора технических наук: 05.20.01. – Рубцовск, 1999. – 348 с.

87. Ситников В.Р. Энергосберегающий способ агрегатирования // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – №8. – С.9.

88. Ситников В.Р., Войнаш А.С. Малогабаритный энергомодуль класса тяги 0,6 (ЭМ-0,6) // Совершенствование рабочих органов сельхозмашин и агрегатов: Тезисы докладов международной науч. -технич. конференции. – Барнаул: АлтГТУ, 1994. – С.63-64.

89. Ситников В.Р., Войнаш А.С., Дрогунов В.Г., Шлеев В.Г. Результаты предварительных испытаний малогабаритного трелевочного трактора // Совершенствование рабочих органов сельхозмашин и агрегатов: Тезисы

докладов международной науч. -технич. конференции. – Барнаул: АлтГТУ, 1994. – С.83-85.

90. Ситников В.Р., Жихарев В.Л., Войнаш А.С. Малогабаритные блочно-модульные машины // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1995. – №6. – С.18-21.

91. Смирнов П.А., Смирнов М.П. Повышение уровня механизации сельскохозяйственного производства в КФХ и ЛПХ // Техника и оборудование для села. – 2006. – №11. – С.2-3.

92. Современная техника для крестьянских хозяйств // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1993. – №4. – С.9-10.

93. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В двух томах / Под редакцией А.В. Красниченко. Том 2. – М.: Машгиз, 1961. – 862 с.

94. Транспортно-технологические машины на базе энергомодуля класса 0,6. Повышение проходимости и обеспечение самопогрузки-разгрузки: Отчет о НИР / Рубцовский индустриальный институт (РИИ); Руководитель А.С. Войнаш; исполнители Войнаш С.А., Жарикова Т.А., Буткевич Е.О. № ГР 01201156914; Инв. №02201157410. – Рубцовск, 2011. – 68 с.

95. Транспортно-технологические машины на базе энергомодуля класса 0,6. Разработка и обоснование параметров устройств самопогрузки и разгрузки малотоннажных транспортных средств для лесостепной зоны: Отчет о НИР / Рубцовский индустриальный институт (РИИ); Руководитель А.С. Войнаш; исполнители Войнаш С.А., Жарикова Т.А., Фрицлер А.Я. № ГР 01201156914; Инв. №02.201.261742. – Рубцовск, 2012. – 64 с.

96. Черепанов С.С., Халфин М.А. Проблемы механизации фермерских хозяйств // Техника в сельском хозяйстве. – 1993. – №1. – С.2-5.

97. Черноиванов В.И., Краснощеков Н.В., Федоренко В.Ф. О развитии малых форм сельскохозяйственного производства (на примере животноводства) // Техника и оборудование для села. – 2006. – №3. – С. 8-11; №4. – С.12-14.

98. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1972. – 384 с.

99. Döhman L., Niemeier J. Das grösse Unimog-Buch. HEEL –Verlag GmbH, Königswinter, 1992.

100. Flach W. Die Standsicherheit der Fahrzeugkrane // Deutsche Hebe- und Fördertechnik, 1965, №3, S.111-116; №4, S.157-158.

Войнаш Александр Станиславович
Войнаш Сергей Александрович
Жарикова Татьяна Александровна

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

Учебное пособие для студентов, обучающихся
по направлению подготовки 23.05.01
“Наземные транспортно-технологические средства”

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано в печать 19.11.14. Формат 60x84 /16
Усл. печ. л. 6,69. Тираж 35 экз. Заказ 14 1326. Рег. №130.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.