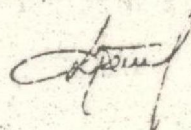


Авторефер
Д 72

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ДРАГАЕВ Владимир Петрович



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ
ДЛЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ОТРАСЛЕЙ АПК

Специальности 05.13.12 – процессы, машины
и агрегаты пищевой промышленности,
05.13.07 – автоматизация технологических
процессов и производств

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени доктора технических наук

Одесса – 1991

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой промышленности им.М.В.Ломоносова.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор П.И.ЧИНАЕВ;
- доктор физико-математических наук,
доцент Л.Г.ЛОБАС;
- доктор технических наук,
профессор Н.В.ОСТАПЧУК.

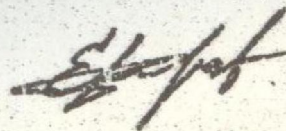
Ведущая организация - Всесоюзный научно-исследовательский
проектно-конструкторский и технологиче-
ский институт безрельсового электрифици-
рованного транспорта с опытным производ-
ством (ВНИИэлектротранспорт), г.Калинин-
град обл.

Защита состоится "27" апреля 1991 г. в 10³⁰ час.
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при Одесском
технологическом институте пищевой промышленности имени М.В.Ломо-
носова, 270039, г.Одесса, ул.Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
технологического института пищевой промышленности имени
М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан - "26" марта 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук, доцент

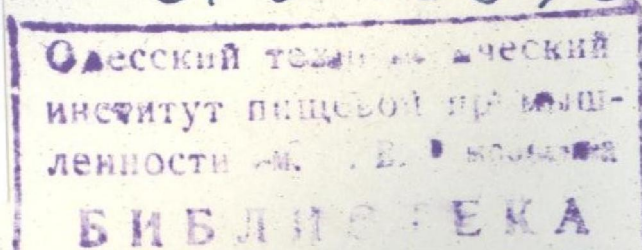


Б.В.Егоров

ОНАХТ 27.07.11
Научно-технические о



v016915



актуальность темы. Динамизм развития, применение тары-оборудования типа паллет или контейнеров и укрупненных единиц грузопереработки из ряда 0,05...3,2 т на предприятиях перерабатывающих отраслей АПК требуют новых свойств производственной структуры - гибкости и мобильности. Эти свойства в значительной мере создаются транспортно-перегрузочной техникой нового класса, которая компьютеризирует целостную технологию - от поступления материалов до выхода готовой продукции.

Одной из главных причин диспропорции между затратами на автоматизацию производства и ее экономической отдачей является то, что при повышении технического и социального уровня производства главное внимание уделялось механизации и автоматизации основного производства. В результате, уровень механизации и автоматизации вспомогательного производства, в частности транспортного, погрузочно-разгрузочного и складского обслуживания, оказался в 3-4 раза ниже основного.

Но транспортно-складские процессы играют существенную роль в синхронизации всех участков транспортно-технологической схемы перерабатывающего предприятия и обеспечении заданных параметров технологического цикла. Эти процессы входят во все фазы производства, т.к. связаны с распределением предметов труда (сырья, материалов, полуфабрикатов, готовой продукции), включая вспомогательные предметы труда (упаковку, тару, отходы). С особой остротой роботизация транспортно-погрузочно-разгрузочного процесса (ТПРП) встает для гибких производственных систем (ГПС), в число важнейших организационно-технических компонентов которых включены транспортные роботы (ТР) или робокары и автоматические транспортно-складские системы (АТСС) различного назначения.

Исследования, положенные в основу диссертации, выполнены автором в СТИП им. М.В. Ломоносова в период 1968-1990 гг. при решении научно-технических проблем моделирования поведения ближайших аналогов ТР - колесных транспортных средств и машин напольного безрельсового электрифицированного транспорта (НБЭТ) и создания перспективных конструкций автоматических транспортных машин, средств очувствления и программно-технического обеспечения управлением ТР и ТПРП в производственных и складских системах.

Тематика многоплановых исследований велась в соответствии с выполнением работ по международной комплексной программе научно-технического сотрудничества со странами СЭВ и СФРЮ "Создание и освоение производства автоматизированных транспортных систем на базе самоходных тележек (робокаров) г/п 0,05...3,2 т" государственной программе "Создание гибких автоматизированных заводов по производству деталей

и узлов станков и штампов", общесоюзной и целевой программ Минэлектротехпрома "Основные задания по созданию, освоению и производству важнейших комплектующих, оборудования и изделий для гибких автоматизированных производств", "Исследование перспективных конструкций автоматизированных машин НБЭТ", программ Минвуза УССР "Механизация и автоматизация ручного труда на производстве", "Робототехнологические системы для промышленных технологических процессов".

Целью работы является создание перспективных ТР и технологий гибкого транспортного обслуживания на базе ТР.

Для достижения поставленной цели решаются следующие проблемы: формализация и параметрическая идентификация движущихся колесных (безрельсовых) транспортных средств как объектов роботизации; теоретическое обоснование эффективного управления движущимися по траекториям произвольной конфигурации ТР на всех режимах эксплуатации и его практическая реализация в условиях производственных помещений и территорий; обоснование методов организации управляемой циркуляции информации в гибкой автоматической транспортной системе (ГАТС) с распределенными движущимися вычислительными средствами и разработка программно-технического обеспечения управляемого обмена информацией; проектирование алгоритмов функционирования модульно-управляемой структуры ГАТС, в т.ч. его важнейшего компонента ТР, на базе встраиваемых микропроцессорных средств; создание комплекса программно-технических средств для управления гибкоперестраиваемым ТПП на основе ГАТС.

Общая методология исследования базируется на представлении ГАТС как сложной технической системы преобразования и циркуляции информации. Для описания используются теоретический аппарат и методы системного анализа, в т.ч. теоретической механики для исследования динамики, нелинейных колебаний, устойчивости и управляемости движения механических систем с упругим качением, теории автоматического управления и системной динамики сложных процессов, теории конечного управления непрерывными динамическими процессами и логическими процессами детерминированных конечных автоматов, теории информации и передачи дискретных данных, имитационного моделирования на базе математических, полунатурных и натурных имитаторов движущихся объектов, комплекса средств очувствления и управления.

Новизна работы включает: приоритетные модули, компоненты и программно-аппаратные средства, обеспечивающие важнейшие свойства ГАТС: гибкость, маневренность, целевую направленность и универсальность средств управления для взаимодействия с открытыми производственными системами; концепции автоматического управления рабочими процессами ГАТС - отслеживанием маршрута произвольной конфигурации и транспорт-

ным обслуживанием; классификации по признакам реализации управляемого маршрутослежения промышленных роботов, ходовых платформ ТР, силовых приводов движения и средств оцувствления вождения; классификации методов, способов и средств обмена дискретных данных по признакам реализации управляемого обмена информацией в ГАТС с рассредоточенными движущимися или неподвижными бортовыми ЭВМ; структуру, требуемые функции и связи и информационную карту технических средств, отражающие потребные и экономичные способы получения, обработки, преобразования, передачи и интерпретации информации и группировку функциональных элементов в подсистемы управления и специальные устройства; установленную связь и соответствие типа конструктивной управляемости ходовой платформы с эластичными и самоориентирующимися колесами (СОК) с полюсно-нулевым представлением ТР и характером распределения пар "нуль-полюс"; аналитические выражения для расчета коэффициентов динамических моделей движущихся ТР для анализа и синтеза комплекса систем управления; концепцию конфигурируемого управления воспроизведением предписанного маршрута, позволившую объединить конструкцию, средства управления и условия эксплуатации, и обеспечить стратегию управления, близкую к иерархической структуре вождения человека-водителя; выражения для определения условий существования скользящего режима с требуемым качеством воспроизведения траектории движения на всех режимах транспортирования; критериальные оценки и показатели качества систем автоматического маршрутослежения (САМ), гарантирующие результат для всего диапазона изменения условий эксплуатации; схмные параметры машинного оцувствления ТР и комплексного процесса управления, включающего движение по перепрограммируемым маршрутам, транспортное обслуживание по перепрограммируемой технологии ТПРП, обмен информацией между территориально удаленным диспетчерским пунктом (ДП) и совокупностью ТР, безопасность функционирования потенциально опасных транспортных машин.

Практическая значимость результатов исследования заключается: в формировании методического и информационно-технического обеспечения проектов комплекса средств управления различными типами ТР, которое справедливо и для колесных безрельсовых складских машин - погрузчиков и штабелеров;

в разработке рекомендаций пространственного, конструктивного, функционального и логического сопряжения управляющих подсистем автоматического маршрутослежения, адресования, погрузки-разгрузки, обмена информацией и безопасности движения с основными компонентами архитектуры транспортно-складских машин нового класса;

в разработке методик организации натуральных экспериментов, обработки результатов и реализации специализированной измерительно-регистрирующей аппаратуры для параметрической идентификации транспортных машин, исследования динамики и целенаправленного конструирования транспортного оборудования с оптимальной устойчивостью и управляемостью;

в установлении режимов достоверного обмена и в разработке сети нестандартного канала связи (КС), топологически охватывающего маршрутную сеть зоны транспортного обслуживания (ЗТО) и связывающего локальные ЭМ ТР с управляющей стационарной ЭМ ДП;

в разработке системы обмена информацией (СОИ) и протокола обмена, ориентированных на мобильные транспортно-складские машины нового класса и промышленные условия эксплуатации, что является организационно-технической базой реализации рационального соотношения централизованного и децентрализованного управления в производственных структурах, а также автоматического контроля ДП правильности выполнения ТР полученного транспортного задания (ТЗ).

Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается соответствием теоретических выводов и прогнозируемого качества управления результатам натуральных испытаний и результатам апробации созданной новой технологии и техники в производстве.

Реализация работы отражена: в нормативно-технических материалах - ГОСТ СССР 28336-89 "Системы производственные гибкие.Роботы. Основные параметры" и в проекте СТ СЭВ "Системы производственные гибкие.Самоходные тележки (роботы).Классификация.Термины и определения"; в методических, информационных и технических материалах по проектированию средств очувствления и комплекса программно-аппаратных средств управления ТР типа ЗТГА (с прицепными платформами) и ЗТР (с подъемным столом или рольгангами) г/п 500, 1000 и 1500 кг;

внедрением в проекты реконструкции транспортно-технологической схемы производства пивс-безалкогольных напитков завода "Черномор" Одесского ПО пиво-безалкогольной промышленности на базе ГАТС межцехового обслуживания и складов компонентов (затаренных риса, сахара, хмеля и цитрусовых плодов); производства шампанских и марочных вин подземного Криковского комбината (ССР Молдова) на базе ГАТС межоперационного обслуживания по туннельным переходам затаренных винматериалов в технологический цех и готовой продукции к выходной рампе; на п/я Р-654Г, п/я А-7949 для межцехового и межоперационного обслуживания технологических линий и комплексов механо- и гальванообработки;

внедрением в испытательную практику полигона НАМИ для комплексных исследований устойчивости и управляемости транспортных машин различного класса;

внедрением в проектную практику ВНИИэлектротранспорта, НПО ЭНИМС, ВНИПТИ ИФ ПО "Динамо" с опытными производствами для создания промышленных образцов нового поколения транспортного оборудования, в т.ч. в проектах заводов(цехов)-автоматов;

внедрением в проект модернизации складского оборудования типа ЭП-1014,ЭШ-124Г с виловыми грузоманипуляторами и автоматизации транспортно-складского обслуживания в складских комплексах Госснаба СССР.

Апробация работы. Основные положения и результаты были предметом докладов на следующих конференциях, семинарах и совещаниях: Всесоюзной научно-технической конференции "Механическая тяга в горном земледелии" (Батуми, 1971), республиканской научно-технической конференции по средствам и системам управления (Севастополь, 1972), Всесоюзном семинаре по устойчивости и управляемости автомобиля (Москва, НАМИ, 1972), республиканском семинаре "Кибернетика" АН УССР на секциях "Транспортная кибернетика" (Одесса, 1972) и "Кибернетика и автоматическое управление" (Одесса, 1976), республиканской научно-технической конференции по физическим основам построения первичных измерительных преобразователей (Винница, 1977), I-й Всесоюзной научно-технической конференции "Адаптивные роботы" (Нальчик, 1982), I-й и 2-й республиканской научно-технической конференции "Промышленные роботы и АСУ роботизированным производством" (Одесса, 1982, Ужгород, 1983), Всесоюзном научно-техническом совещании "Экономические проблемы создания эффективных автоматизированных и робототехнических систем" (Орджоникидзе, 1984), республиканской научно-технической конференции "Пути сокращения применения ручного труда в отраслях пищевой промышленности" (Запорожье, 1984), Всесоюзной научно-технической конференции "Перспективы внедрения роботов и манипуляторов на погрузочно-разгрузочных работах в морских портах" (Ильичевск Одесской обл., 1985), отраслевой научно-технической конференции "Динамика и адаптация технологических систем машиностроения" (Тольятти, 1986), I-й и 2-й Всесоюзной научно-практической конференции "Проблемы создания и внедрения гибких производственных и робототехнических комплексов на предприятиях машиностроения" (Одесса, 1986, 1989), Международном симпозиуме по автоматическим транспортным системам (Москва, 1990), итоговых научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ОТИПП (Одесса, 1970-1990), Научно-технических советах НАМИ, ВНИИэлектротранспорта, ВНИПТИ, ЭНИМС (1973-1989).

Публикации. Основные идеи, теоретические и методические положения диссертации, принципы технических и технологических проработок отражены в монографии автора "Транспортные роботы для автоматизированного производства" и 35 опубликованных работах, а также в 10 де-

понированных отчетах о завершенных НИР.

Объем и структура диссертации. Учитываемый объем работы содержит 373 стр. машинописного текста, 136 иллюстраций, библиографию из 293 наименований и приложений, объемом 138 с. Диссертация состоит из введения, 6 разделов, заключения, библиографии и II приложений.

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, выделены основные направления модернизации заводского транспортирования, сформулированы тема, научное направление и цель работы.

В приложениях помещены табличные и графические данные по сравнительным оценкам внутривозовского транспорта для обслуживания ГПС и характеристике роботизации транспортного обслуживания в Европе; расчеты функциональной модели ТР и модели в переменных состоянии для полной и упрощенной формализации ТР; характеристики объектов экспериментальных исследований, измерительных каналов специализированного комплекса аппаратуры для экспериментальных исследований и результаты параметрической идентификации транспортных средств; результаты имитационного моделирования на аналоговых ЭВМ СМ с переменной структурой, действии чистого запаздывания и переменных внешних возмущений; расчет экономической эффективности внедрения ГАТС в безлюдную технологию перемещения штучных грузов в многооборотной таре; акты испытаний и внедрения научно-практических результатов работы.

На защиту выносятся: теоретическое обоснование приоритетных модулей ГАТС, специализации машинного оцувствления ТР и технических средств комплексного управления движением по перепрограммируемым маршрутам, транспортным обслуживанием по перепрограммируемой технологии ТПРП, обменом информацией в ГАТС и безопасностью функционирования ТР; связь конструктивной управляемости ходовой платформы с эластичными и самоориентирующимися колесами с полюсно-нулевым представлением ТР в режимах движения вперед, задним ходом и при наличии прицепных платформ; концепцию конфигурируемого управления маршруто-слежением и ее реализацию средствами систем с переменной структурой; концепцию управляемого адресования и ее реализацию средствами независимой композиции "Транспортный робот-Маршрутно-путевой модуль (ТР-МПМ)".

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Раздел I. Системное проектирование роботизированных промышленных транспортных комплексов

С методологической точки зрения, современный этап развития систем управления производством характеризуется двумя существенными понятиями - структурной и функциональной самостоятельностью по управлению, обусловленных объективным существованием независимых целей и реали-

зуемых отдельными ее структурами (модулями, звеньями или частями системы). Не составляет исключения из этого подхода внутривзаводская транспортная система с подвижным составом на базе ТР.

Важнейшими самостоятельными целями системы транспортирования являются: 1) управляемое движение, в результате которого каждое ТР автоматически воспроизводит с требуемым качеством предписанный маршрут движения на всех режимах эксплуатации; 2) управляемый обмен информацией между ТР и внешним устройством (ЭВМ) или человеком-оператором.

Чем качественнее управляемое движение по маршруту, тем надежнее адресование к цели, распознавание пунктов обслуживания, стыковка с внешним оборудованием для выполнения автоматической погрузки-разгрузки, замены или подзарядки бортовых источников энергии и др. видов работы. А без управляемого обмена информацией невозможно осуществить автоматический контроль за функционированием рассредоточенных в ЗТО транспортных машин, оперативное управление и перепрограммирование технологии ТПРП, т.е. невозможно реализовать безлюдную технологию.

Кроме того, без регулируемого обмена информацией невозможно реализовать рациональное соотношение централизованного и децентрализованного управления взаимосвязанными системами, уменьшить меру неопределенности отдельных подсистем, зависящую от технических средств управления нижнего уровня управления, но обеспечивающих достоверность информации для более высоких уровней управления.

Проблемы, связанные с автоматизацией дискретного ТПРП, охватывают широкий круг вопросов по созданию комплекса бортовых систем управления (СУ) ТР, группового управления роботами, согласования, контроля и управления внешним технологическим оборудованием, которое по отношению в ТР образует "среду обитания", обеспечения безопасности функционирования, поскольку движущийся ТР относится к потенциально опасным объектам, и целый ряд др. вопросов.

Рассмотрены содержание и последовательность основных этапов системного построения типовой роботизированной транспортной системы и транспортного оборудования для различных производств.

Индустрия АПК является одной из самых многокомпонентных структур, использующая весь существующий арсенал методов и средств транспортирования, погрузки-разгрузки и складирования. Поэтому анализ ТПРП, выполненный по материалам перерабатывающих отраслей АПК, полученные выводы и рекомендации справедливы для многих других предприятий с дискретным характером производства и широким ассортиментом продукции (легкой промышленности, продовольственного машиностроения и др.), а также для центров специализированного ремонта техники АПК и складских комплексов материально-технического снабжения.

Становлению и развитию новой транспортной техники и технологии способствуют две концепции ППС: сбалансированного материального оборота и технологической перестраиваемости или перегруппировки технологического оборудования и материальных потоков. В результате, устраняется как избыток предметов труда, так и их недостаток, сокращаются запасы на складах путем рассредотачивания движущихся предметов внутри и между законченными технологическими циклами или фазами. Управление перегруппировкой технологического оборудования и грузопотоками обеспечивается изменением транспортных связей. При этом формируются новые конфигурации движения материалов в процессе производства и новые конфигурации технологических линий с тем же или расширенным составом оборудования.

Рассмотрены преимущества роботизации внутризаводских перевозок, требования ППС к транспортно-перегрузочному оборудованию и область наиболее эффективного использования ТР. Выделены основные направления систематизации мобильного оборудования, его положения в общей классификации робототехнических систем и состав типовой транспортной машины, образующей конструктивную основу ТР или робокара.

Как объект управления ГАТС имеет, как минимум, двухуровневую СУ. СУ нижнего уровня обеспечивает необходимые параметры режимов функционирования компонентов ГАТС, автономность работы, адаптивность к изменению условий эксплуатации, преобразование и передачу информации о процессах и состояниях компонентов ГАТС в верхний уровень. СУ верхнего уровня обеспечивает управление технологией ТПП: хранит полную маршрутную карту, формирует список ТЗ, выдает ТЗ из списка конкретным ТР, контролирует исполнение роботом полученного ТЗ, ведет учет работы, простоев, аварийных состояний и сбоев оборудования и модулей.

Такая иерархия СУ обусловлена и целями разных проблем – движения в целом и транспортного обслуживания (ТО), объединенных в главном компоненте ГАТС – робокаре, и решаемых двойственной структурой "Водитель-Диспетчер". Подчеркивается, что конструирование транспортных машин нового типа связано с решением сложных проблем управления, объяснение основных процессов которого – качения упругого колеса и слежения за опорной траекторией – не вышло за рамки гипотез.

Рассмотрены основные направления развития безоператорных транспортных средств (ТС), многоплановость проблем, перечень задач, которые должны решаться независимой композицией ТР-МТМ, и требуемый результат в процессе создания ГАТС.

Раздел 2. Методология алгоритмизации основных рабочих

процессов роботизированного транспортного комплекса

Алгоритмизации внутризаводского ТО способствует упорядочение марш-

рутов, регламентирующее работу ТР с фазами технологического процесса. Рассмотрены типы и формы транспортных связей, последовательность этапов формирования маршрутов, виды маршрутов и типовые элементы маршрутной сети, а также основные положения организации автоматического ТО: сосредоточение всех ТР в транспортном модуле; маршрутизация; целевое закрепление складов за обслуживаемым технологическим оборудованием участков, линий, цехов; диспетчерский контроль и управление ТПП.

Поиск эффективных и экономичных технических решений, вырабатывающих универсальную стратегию управления вождением, не уступающую по качеству управления стратегии человека-водителя, явился стимулом к пересмотру существующих стратегий автоматического отслеживания заданного маршрута произвольной конфигурации. Отказ от структурно-технического подхода к синтезу САМ обусловлен тем, что отслеживание предписанного маршрута – сложный динамический процесс, требующий выявления сначала связей, взаимодействий и иерархии (организации) процесса вождения.

При определенных и обоснованных в работе допущениях неизменяемую часть системы (НЧС) или обобщенный объект управления целесообразно описать линейной стационарной системой с постоянными коэффициентами, принимающими фиксированные значения из известного диапазона, обусловленного режимами эксплуатации ТР:

$$\begin{cases} \dot{\bar{x}} = \bar{A}\bar{x} + \bar{B}\bar{u}, \\ \bar{y} = \bar{C}\bar{x} + \bar{D}\bar{u}, \end{cases} \quad (1)$$

где $\bar{x}$, $\bar{y}$ – входные и выходные переменные движущегося ТР, $\bar{u}$ – внешнее управляющее воздействие, не зависящее от $\bar{x}$, $\bar{x} \in \mathbb{R}^n$; $\bar{y} \in \mathbb{R}^m$; $\bar{u} \in \mathbb{R}^l$; $\bar{A}$, $\bar{B}$, $\bar{C}$, $\bar{D}$ – матрицы постоянных коэффициентов размерностей соответственно $n \times n$, $n \times l$, $m \times n$, $m \times l$.

Для объекта (1) необходимо синтезировать САМ, программатор которого вырабатывал бы на вход системы воздействие по главной обратной связи (ОС) по состоянию ТР вида

$$\bar{v} = \bar{K}\bar{x} + \bar{u}, \quad (2)$$

с заданным распределением корней характеристического уравнения и требуемым качеством воспроизведения опорной траектории движения, $\bar{v}, \bar{u} \in \mathbb{R}^l$;

$\bar{K}$ – постоянная матрица коэффициентов ОС размерности $l \times n$. При этом управляемость и наблюдаемость замкнутой системы

$$\begin{cases} \dot{\bar{x}} = (\bar{A} + \bar{B}\bar{K})\bar{x} + \bar{B}\bar{u}, \\ \bar{y} = (\bar{C} + \bar{D}\bar{K})\bar{x} + \bar{D}\bar{u} \end{cases} \quad (3)$$

не изменится. Трудность реализации (2) заключается в том, что часть переменных состояния ТР не доступна измерению и нет возможности использовать их в (2).

Следовательно, САМ нужен такой оценщик состояния, который из-

мерял бы доступные переменные НЧС и на основе этих из ерений вырабатывал недостающие переменные состояния $\bar{x}$ или непосредственно требуемую функцию ($\bar{K}\bar{x}$), причем с учетом принципиальной невозможности добиться идентичности начальных состояний реального объекта и идеализированного программатора, неучтенных реальных инерционностей элементов оценивателя, нелинейностей силовой части ТР, ограничений к виду управления и др. факторов. В такой ситуации структурирование потребной главной ОС по состоянию НЧС эффективно решается на основе теории систем с переменной структурой (СПС), разработанной акад. С. В. Емельяновым и его школой.

Системная динамика выявляет две концепции построения СМ: маршруто-слежение как двуединная задача "Штурман-Рулевой" и маршруто-слежение как одна задача "Рулевой".

В 1-й концепции решение задачи "Штурман" обеспечивает вычисление требуемых опорных точек заданной траектории движения, решение задачи "Рулевой" обеспечивает движение по опорной траектории путем вычисления дискретной коррекции фактического направления или фактической траектории относительно вычисленной опорной.

Во 2-й концепции решение задачи "Штурман" отсутствует, т.к. опорная траектория изначально физически существует (в виде конкретного материального носителя), а решение задачи "Рулевой" обеспечивает движение по ней путем стабилизации ориентирования движущегося ТР относительно физической опорной траектории.

2-я концепция выражена в 3-х направлениях развития независимой композиции ТР-МГМ: 1. Опорная траектория лежит внутри коридора движения, границы которого заданы материальными носителями (маяками, маркерами). Потребная траектория движения рассчитывается или распознается относительно физических границ. Синтез программатора СМ сводится к расчету оптимальной СУ с ОС попадания в дискретные точки заданной траектории движения или к задаче выбора вида функции ошибки. 2. Опорная траектория совпадает с физической, принимаемой за начало отсчета для формирования сигнала рассогласования. Синтез программатора сводится к расчету главной ОС по состоянию НЧС. 3. Комбинация двух предыдущих направлений, когда определенные отрезки траектории задаются материальными носителями, а другие отрезки, например переходы с одной траектории на другую, вычисляются относительно физической, принимаемой за границу коридора движения.

Различие в формировании опорной траектории движения соответственно ведет к различным методам получения информации о сигнале рассогласования, различному информационному содержанию независимой композиции ТР-МГМ и программно-техническому обеспечению циркулирования ин-

формации внутри ТР-МПМ. В I-ом направлении ошибка измеряется косвенно по результатам измерения составляющих сигнала ошибки, т.е. как разности измеренных абсолютных величин заданного и фактического положения ТР, относительно неподвижной системы координат, совмещенной с физической границей коридора существования расчетных траекторий. Во 2-м ошибка измеряется непосредственно, т.е. измеряется результат сравнения (сопоставления), относительно подвижной системы координат, скользящей вдоль физической траектории со скоростью движения ТР.

Формализация процесса ТО базируется на совокупности принятых правил организации ТПРП и распределении действий внутри независимой композиции ТР-МПМ и между модулями ГАТС. Текущая заявка на ТО содержит либо единичный цикл "Взять-отдать" с указанием адресов, где "Взять" и куда "Отдать", либо последовательность таких циклов. При этом независимая композиция ТР-МПМ, обладающая памятью, последовательно изменяет свои состояния, в т.ч. состояния ТР: "Старт", "Движение", "Остановка", "Погрузка(Разгрузка)" и т.п. в заданных адресах.

Чтобы ТР попал в указанные адреса, ему нужно обеспечить движение к указанным целям, т.е. связать адреса с выполнением технологических операций конкретной траекторией. В результате, полное ТЗ, выдаваемое в память ТР-МПМ, содержит описание этой траектории в виде массива маркеров и инструкций, реализующих определенный набор типовых операций ТПРП.

Целенаправленное движение ТР с выполнением типовых функций можно реализовать, используя две концепции управления выполнением ТЗ: 1. ТР выполняет шаги алгоритма управления выполнением ТЗ, МПМ выполняет порядок алгоритма. В этом случае ТР - операционный автомат и не является носителем "интеллекта". МПМ - управляющий автомат, обладает памятью, хранит полученное ТЗ и является источником формирования управляющих инструкций (команд) для ТР. Гибкость транспортного модуля полностью достигается за счет "интеллекта" МПМ. 2. ТР выполняет и шаги, и порядок алгоритма управления выполнением ТЗ, МПМ - источник текущей информации для бортового управляющего автомата ТР. ТР обладает памятью, хранит полученное ТЗ и сам себе формирует управляющие инструкции для реализации задания. Гибкость транспортного модуля достигается за счет "интеллекта" ТР.

ГАТС в целом, как сложный преобразователь информации, так же целесообразно рассматривать в виде совокупности пар из операционного и управляющего автоматов. Объединение технических средств в "операционный" или "управляющий" автомат зависит от уровня управления в ГАТС, но автономность ГАТС требует "самостоятельности" каждой такой пары.

В работе обоснована иерархия управляемого вождения по предписан-

ной траектории на основе методологии выработки целенаправленного движения человека при обучении двигательными навыками, разработанной чл.-корр. Н.А. Бернштейном, и перспективность реализации иерархической структуры сравнения в рамках концепции конфигурируемого управления.

При конфигурируемом управлении для каждого текущего момента времени формируется определенный набор составляющих управления, которые определяют конфигурацию результирующего сигнала управления. В результате, для каждого момента времени "сшивается" из определенных фазовых портретов отдельных структур суммарный фазовый портрет замкнутой САМ. Это "сшивание" происходит в определенной области фазового пространства на т.н. гиперплоскости скольжения или границе смены структур. Высокая частота изменения структур и малая величина зоны, охватывающей границу смены структур, формируют модулированный сигнал управления сложной формы, заполненный высокочастотной несущей. Такой сигнал управления наделяет САМ адаптивными свойствами за счет множества типов ОС в канале главной ОС по состоянию ТР:

$$\left. \begin{aligned} u(t) &= L_u [\Psi^*, x(t)], \\ \Psi^*(t) &= L_s [q, s(t)], \\ c^*(t) &= L_c [\nu, \Psi^*(t)], \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где L_u - оператор главной ОС в блоке коммутируемых коэффициентов (БКК), Ψ^* - коэффициенты БКК, $u(t)$ - управляющий сигнал, L_s - оператор преобразования входа-выхода " $s(t) \rightarrow \Psi^*(t)$ ", q - коэффициенты оператора преобразования L_s ; $\Psi^*(t) \in \overline{\Psi^*}$; L_c - оператор преобразования " $c^*(t) \rightarrow \Psi^*(t)$ ", ν - коэффициенты оператора связи L_c ; $c^*(t) \in \overline{C^*}$; $x(t)$ - сигнал сравнения, $x(t) = x_{зд}(t) - y(t)$; $s(t)$ - функция переключения управления, определяемая как

$$\left. \begin{aligned} s(t) &= g_1(t) - x(t), \\ x(t) &= L_x [C^*, x(t)], \\ g_1(t) &= L_x [C^*, x(t)]. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В (5) L_x - оператор формирователя функции переключения (ФФП), C^* - коэффициенты ФФП, $g_1(t)$ - желаемая функция переключения управления.

Поскольку на скорости изменения коэффициентов $\Psi^*(t)$ и $c^*(t)$ отсутствуют ограничения (в отличие от переменных состояния НЧС), их можно менять как угодно быстро. В результате можно разнести темпы протекания переходных процессов в контурах различных ОС в канале главной ОС, обеспечить переменную конфигурацию управляющего сигнала и желаемые динамические свойства САМ для всего диапазона изменения условий эксплуатации и заданного класса внешних возмущений $f_B(t)$.

Для обслуживания дискретного ТПРП типовая ГАТС должна содержать 4 компонента: подвижной состав или совокупность ТР; МГМ, образующий информационную модель ЗТО в виде совокупности опорных траекторий движения и маркеров; перегрузочное оборудование - бортовое и внешнее

стационарное; комплекс СУ. Перечень данных, характеризующих ГАТС в целом и отдельные его компоненты, свидетельствует, что проектные решения типовой ГАТС относятся к многокритериальным задачам. Поэтому целесообразно структурировать ГАТС на модули, общие для предприятий различной отраслевой принадлежности, а оценку и сравнение проектных решений вести по нескольким независимым группам критериев.

Анализируется специфика промышленного ТР, не позволяющая сформулировать глобальный критерий оценки качества ГАТС или формализовать полный перечень частных критериев, однозначно определяющий потребный набор частных оценок и показателей качества для оценочных шкал. Обосновывается критерий безопасности движущегося ТР и его оценка абсолютными и статистическими показателями качества, характеризующие гарантированную на всех режимах эксплуатации точность отслеживания и повторяемость (стабильность) процесса отслеживания, соответственно при однократном и многократном воспроизведении предписанного маршрута.

Учитывая практическую значимость колесных ТС, которые стали объектами исследования математики и механики еще с начала XX века, и многогранность данного объекта, теоретический фундамент заложили многие научные направления. В частности, по аналитической механике голономных и неголономных систем, теории устойчивости и управляемости различных классов мобильных объектов, теории автоматов и формальных грамматик, прикладной теории алгоритмов, современной теории СУ и ее прикладные направления. Среди них труды И. Рокара, М. А. Келдыша, Е. А. Чудакова, Я. М. Певзнера, И. И. Метелицина, Ю. И. Леймарка, Н. А. Фуфаева, Л. Г. Лобаса, Л. В. Гячева, Д. Эллиса, Л. Сиджела, А. М. Летова, Н. А. Бернштейна, С. А. Литинского, А. А. Хачатурова, В. Л. Афанасьева, В. Г. Васильева, А. В. Калоева, А. А. Юрчевского, Э. Кикуги, И. И. Кринецкого, С. В. Емельянова, А. А. Воронова, А. С. Шаталова, А. А. Красовского, М. Л. Быховского, Н. Н. Красовского, П. И. Чинаева, В. М. Кейна, Ю. Ту, В. А. Горбатова, И. Р. Фрейдзона и др.

Этот фундамент создает обоснованные предпосылки предлагаемой формализации ТР, алгоритмизации основных режимов ГАТС и проектирования СУ с запланированными свойствами.

Раздел 3. Динамический анализ колесных транспортных средств как объектов роботизации

Для анализа устойчивости движения колесных ТС из авиации была заимствована идея устойчивости траектории при прямолинейном или круговом движении. Однако устойчивость можно рассматривать для различных состояний исходного равновесия. Отсутствие единых представлений в вопросе устойчивости и управляемости колесного ТС обусловлено тем, что вкладывается разный смысл в эти понятия разработчиками конструкции ТС и разработчиками СУ ТР. Для последних конструкция априорно задана,

входит в НЧС " не подлежит конструктивным изменениям в процессе автоматического функционирования.

Источником разногласия является катящееся упругое колесо, которое является местом взаимодействия внешних как управляющих, т.е. целенаправленных действий, так и возмущающих сил, как правило, неизмеряемых. Целесообразно в структуре ТР выделить две конструктивные части: колесную платформу и управляющую силовую исполнительную часть, в т.ч. механизм поворота. Тогда понятие "устойчивость ТР" как способность конструкции сохранять заданное (прямолинейное или круговое) движение это - устойчивость состояния ТР по возмущению, а понятие "управляемость ТР" как способность конструкции изменять направление движения - устойчивость ТР по управлению.

Предметом теории управляемости мобильных объектов является выявление, контроль и использование внешних сил, обеспечивающих заданное изменение величины вектора скорости и заданное изменение направления вектора скорости объекта. Систематизация описаний мобильных объектов показывает, что движение ТР определяется большим числом действующих на него внешних сил и моментов. Однако для целей управления существенны лишь те, которые могут быть измерены и использованы для формирования требуемой стратегии управления.

Как для самолета основным элементом взаимодействия внешних и управляющих сил является несущая плоскость, так для ТР таким элементом является колесо или система колес. Приведена классификация ходовых платформ ТР и механизмов изменения направления движения, которые по реализации НЧС можно разделить на 2 группы: с отдельными приводами движения (тяговыми) и поворота (изменения направления движения), воздействующими на разные колеса - ведущие и управляемые; с совмещенным приводом и движения, и поворота, воздействующим на одни и те же колеса (ТР с так называемыми мотор-колесами).

Формализация движущегося ТР на основе общих законов динамики базируется на использовании методов подвижных осей координат, разделения уравнений движения и их линеаризации. Это позволяет смоделировать ТР в классе линейных стационарных моделей, описываемых обыкновенными линейными дифференциальными уравнениями с постоянными (или "замороженными") коэффициентами и получить взаимозэквивалентные модели ТР методами функционального преобразования и системной динамики в переменных состояния. Ряд допущений, сохранив главные специфические особенности процесса отклонения движущегося ТР от опорной траектории, позволяют упростить вычисление коэффициентов этих моделей.

Уравнение бокового движения ТР в классе линейных моделей с учетом его подрессоренного корпуса, изменения нагрузки на колеса при наличии

груза и гибких связей НЧС и изменения состояния управляемых колес ходовой платформы, имеют вид:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \alpha \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{\varphi_k} \\ M_{\varphi_k} \\ 0 \end{bmatrix} \varphi_k, \quad (6)$$

где элементы матрицы коэффициентов равны

$$\begin{aligned} A_{11} &= m_{TP} VD - Y_{\beta}; & A_{12} &= m_{TP} VD - Y_{\alpha} D; & A_{13} &= m_{\kappa} h D^2 - Y_{\gamma}; \\ A_{21} &= -M_{\beta}; & A_{22} &= J_{TP1} D^2 - M_{\alpha} D; & A_{23} &= -P_{TP} D^2 - M_{\gamma}; \\ A_{31} &= m_{\kappa} h VD; & A_{32} &= -P_{TP} D^2 + m_{\kappa} h VD; & A_{33} &= J_{TP2} D^2 - L_{\beta} D - L_{\gamma} \end{aligned}$$

β, α, γ - переменные движения, соответственно по углам бокового сноса, курса и крена; $D = d/dt$; $D^2 = d^2/dt^2$ - оператор дифференцирования; $J_{TP1}, J_{TP2}, P_{TP}, h, m_{TP}, m_{\kappa}, V$ - конструктивные и режимные параметры ТР; $Y_{\beta}, Y_{\alpha}, Y_{\varphi_k}, Y_{\gamma}, M_{\beta}, M_{\alpha}, M_{\gamma}, M_{\varphi_k}, L_{\beta}, L_{\gamma}$ - производные устойчивости движения, определяемые частными производными из анализа реакций сил и моментов конкретных ходовых платформ.

Применяя к (6) преобразование Лапласа при нулевых начальных условиях по всем переменным движения и осуществляя переход к новым переменным движения по угловому отклонению продольной оси ТР от заданного направления движения θ и линейному боковому смещению центра масс ТР от опорной траектории y_{κ} , получим функциональную модель ТР в виде дробно-рациональных передаточных функций:

$$W_{y_{\kappa}}(p) = \frac{V}{p} W_{\theta}(p); \quad W_{\theta}(p) = \frac{K_{\alpha} \left(\sum_{n=1}^4 T_{n\theta} p^n + 1 \right)}{p \left(\sum_{n=1}^4 T_n p^n + 1 \right)}, \quad (7)$$

где преобразованные динамические коэффициенты связаны с динамическими коэффициентами (6) соотношениями

$$\left. \begin{aligned} T_{4\theta} &= \frac{K_{\beta}}{K_{\alpha}} T_{3\beta}; & T_{3\theta} &= \frac{K_{\beta}}{K_{\alpha}} T_{2\beta} + T_{3\alpha}; \\ T_{2\theta} &= \frac{K_{\beta}}{K_{\alpha}} T_{1\beta} + T_{2\alpha}; & T_{1\theta} &= \frac{K_{\beta}}{K_{\alpha}} + T_{1\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Коэффициенты $K_{\alpha}, K_{\beta}; T_{m\alpha}, T_{m\beta} (m = 1, 2, 3); T_n (n = 1, 2, 3, 4)$ - вычисляются после преобразований матрицы коэффициентов (6) с конкретными конструктивными и режимными параметрами ТР и рассчитанными производными устойчивости движения.

Если конструктивные параметры ТР обеспечивают на всех режимах эксплуатации компенсацию нулей и полюсов дробно-рациональной части (7), то конструкция ТР обладает нейтральной собственной управляемостью, обеспечивающей постоянную скорость изменения углового отклонения ТР траектории. Если скомпенсированы $(n - 1)$ нулей и полюсов, а в оставшейся паре нуль-полюс превалирует полюс, то конструкция ТР об-

С. В. 16915

Одесский технологический
институт пищевой промыш-
ленности им. В. Ленинского

БИБЛИОТЕКА

ладает недостаточной собственной управляемостью, обеспечивающей скорость изменения углового отклонения с инерционным гашением. Если превалирует в оставшейся паре нуль, то конструкция ТР обладает избыточной собственной управляемостью, обеспечивающей скорость изменения углового отклонения с упреждением. Избыточная собственная управляемость может характеризоваться появлением положительного полюса или положительной пары нуль-полюс, т.е. структурной неустойчивостью дробно-рациональной модели (7). Явление бокового сноса ТР, обусловленного уводом эластичных ободов колес ТР и "флюгерным" эффектом СОК, приводит к перераспределению нулей и полюсов в (7), т.е. к изменению динамики робокара.

Преобразуя дробно-рациональную модель (7) в систему уравнений состояния, получим модель ТР в переменных состояния, удобную для машинных экспериментов с НЧС и синтеза САМ на АВМ. Модель ТР в переменных состояния имеет вид:

уравнение состояния

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -a_4 & -a_3 & -a_2 & -a_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \end{bmatrix} u, \\ \text{уравнение выхода} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\bar{y} = [1 \ 0 \ 0 \ 0] \bar{x} + k_0 u,$$

где u — скалярная входная величина, а элементы матрицы-коэффициентов — постоянные числа, определяемые по рекуррентной формуле

$$k_0 = b_0, \quad k_i = b_i - \sum_{m=0}^{i-1} a_{i-m} k_m, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (10)$$

В (9), (10) коэффициенты $a_4, \dots, a_1, b_4, \dots, b_0$ связаны с коэффициентами модели (7) и динамическими коэффициентами (8) формулами

$$\begin{aligned} a_4 &= 1/T_4; \quad a_m = a_4 T_{4-m} \quad (m=1, 2, 3); \\ b_4 &= \sqrt{K_d} a_4; \quad b_{4-j} T_{j0} \quad (j=1, 2, 3, 4). \end{aligned} \quad (11)$$

Модели (7) и (9) конкретизированы для расчетов и моделирования ТР: с управляемыми колесами с учетом эффекта самостабилизации колес и без него; с СОК и неповоротными мотор-колесами; с шарнирно-сочлененными колесными прицепами; в режимах движения вперед-задним ходом. Рассмотрены необходимые условия существования управляемого движения и роль параметра скорости транспортирования как стабилизирующего фактора процесса перераспределения и целенаправленной компенсации нулей и полюсов в полюсно-нулевом представлении ТР.

Движущийся по свободной опорной траектории ТР является типичным представителем динамических СУ с ОС, синтез структуры управляющего устройства и выбор параметров которого решается на основе информации о динамических свойствах объекта управления. Однако высокая

размерность математической модели и большие объемы перерабатываемой информации, опирающиеся на расчетные и экспериментальные исходные данные, не гарантируют удовлетворительное техническое решение. В работе обосновывается эквивалентная по динамическим свойствам модель ТР и решается задача идентификации ее параметров, используя естественные и специально организованные материальные носители заданной опорной траектории как физической основы канала управления с ОС.

Разработанные специализированные комплексы измерительно-регистрирующей аппаратуры, методика организации натурных экспериментов и алгоритмы параметрической идентификации апробированы на разнообразных качесных ТС легкого, среднего и тяжелого классов и машин НБЭТ как ближайших аналогов ТР, а так же промышленных образцов ТР буксирного (с переменным числом прицепов) и грузонесущего типов г/п до 1,5 т. Результаты динамического исследования позволяют обоснованно оперировать эквивалентной моделью ТР с переменными коэффициентами. При этом диапазон изменения динамических коэффициентов эквивалентной модели и ее структура удовлетворяют широкому набору конструкций ТР, промышленным условиям эксплуатации открытых и закрытых производственных помещений и территорий, изменению режимных параметров в широком диапазоне.

Раздел 4. Динамический анализ систем с переменной структурой для автоматического маршрутослежения

НЧС ТР, в целом, представляет собой сложную электромеханическую систему со множеством реально существующих нелинейностей, которые для СУ нежелательны, т.к. являются источником автоколебаний (неуправляемых движений), ухудшения качества управления, усложнения расчета параметров СУ. Учет реально существующих нелинейностей идет по двум направлениям: 1) путем замены нелинейных звеньев СУ эквивалентными звеньями с требуемыми статическими и динамическими свойствами, т.е. через компенсацию реальной нелинейности корректирующими внутренними ОС; 2) путем введения специально организованного управления нелинейностью и использования свойств управляемой нелинейности.

Развитие этих направлений привело к появлению 3-го пути, когда управляемой нелинейностью компенсируют нежелательные нелинейности, и появлению теории СПС. В результате, нелинейная СУ приобретает самоуправляемую устойчивость (или ультраустойчивость) и адаптивность к внешним и параметрическим возмущениям. Развивая принцип ультраустойчивости, С.В.Емельянов и его последователи доказали, что эти полезные свойства нелинейной СУ можно получить, оперируя набором неустойчивых структур управления путем "сшиваия" фазовых портретов этих

структур и формирования искусственных устойчивых траекторий с требуемыми свойствами системы. Исследования особо организованных нелинейных элементов переменной структуры в режиме переключения управления с большой частотой, выполненные в рамках СПС, привели к новому основному рабочему режиму СУ – скользящему – и новому способу реализации глубокой отрицательной ОС в СУ. Однако между теорией и практикой снова образовался разрыв. Свойства реального скользящего режима оказались далеки от свойств теоретического (или желаемого) скользящего режима, т.к. для получения высокочастотного скольжения с требуемыми свойствами вновь встала задача синтеза главной ОС по состоянию НЧС и наблюдаемости (измеряемости) всех переменных состояния реального динамического процесса.

Динамические свойства эквивалентной модели ходовой платформы и электромеханического привода изменения направления движения дают эквивалентную модель НЧС ТР вида

$$[T_{\text{экв}} T_{\theta}^{\text{экв}} p^5 + (T_{\text{им}} + T_{\theta}^{\text{экв}}) p^4 + p^3] y(p) = (K T_y p + 1) u(p). \quad (12)$$

где:

$$\left. \begin{aligned} K &= K_y K_{\text{им}} = V K_{\alpha}^{\text{экв}} K_{\text{им}}; \quad T_y = R/V; \\ K_{\alpha \min} &\leq K_{\alpha}^{\text{экв}} \leq K_{\alpha \max}; \\ K_{y \min} &\leq K_y \leq K_{y \max}; \\ T_{\theta \min} &\leq T_{\theta}^{\text{экв}} \leq T_{\theta \max}; \\ T_{y \min} &\leq T_y \leq T_{y \max}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

В процессе управляемого маршрутослежения опорная траектория произвольной конфигурации является задающей функцией $x_{\text{зд}}(t)$. При движении ТР вдоль опорной траектории, заданной материальными носителями, конечный результат процесса управляемого отслеживания оценивается отсутствием ошибки между опорной и фактической траекториями $\varepsilon(t)$: $x_{\text{зд}}(t) - y(t)$ или равенством сигнала ошибки нулю с требуемой точностью на всем интервале воспроизведения заданной траектории с учетом изменения коэффициентов модели ТР в диапазоне (13). Поскольку опорная траектория принимается за начало отсчета, $x_{\text{зд}}(t) \equiv 0$, $\varepsilon(t) = -y(t)$.

Выполненные исследования фазовых портретов ТР с управлением $u(t)$ в виде линейной комбинации переменных по сигналу ошибки и конечном числе производных от нее позволяют оценить набор структур управления и выделить характерные режимы транспортирования или поддиапазоны (13), внутри которых изменение коэффициентов модели (12) не меняет вид фазовых портретов. Имея набор фазовых портретов линейных структур, синтезируем структуру САМ такой, чтобы гиперплоскость скольжения не принадлежала ни одной из имеющихся в наборе структур, но фа-

зовые траектории отдельных структур в окрестности гиперплоскости скольжения были бы направлены к плоскости скольжения или границе смены управления $u(t)$ в любой точке гиперплоскости скольжения.

Для машинных экспериментов с синтезированной САМ модель (I2) записываем в пространстве переменных состояния и составляем схему состояний, совпадающую со схемой моделирования на АБМ:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\varepsilon}_i &= \varepsilon_{i+1}, \quad i = 1, 2, 3, 4; \\ \dot{\varepsilon}_5 &= -\frac{T_{им} + T_{\theta}^{экв}}{T_{им}} \varepsilon_5 - \frac{1}{T_{им} T_{\theta}^{экв}} \varepsilon_4 + \\ &+ \frac{K(T_y - T_{\varphi})}{T_{им} T_{\theta}^{экв} T_y} \varepsilon_6 - \frac{KT_y}{T_{им} T_{\theta}^{экв} T_{\varphi}} u; \\ u &= \sum_{i=1}^4 \psi_i \varepsilon_i + \psi_{u*} \varepsilon_6; \\ s &= \sum_{i=1}^4 C_i \varepsilon_i + \varepsilon_5; \end{aligned} \right\} \quad (I4)$$

где:

$$\left. \begin{aligned} \psi_i &= \begin{cases} \alpha_i & \text{при } s\varepsilon_i > 0, \\ \beta_i & \text{при } s\varepsilon_i < 0, \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, 4; \\ \psi_{u*} &= \begin{cases} \alpha_{u*} & \text{при } s\varepsilon_6 > 0, \\ \beta_{u*} & \text{при } s\varepsilon_6 < 0. \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (I5)$$

Канал главной ОС содержит БКК, формирующий сигнал управления и нелинейные логические элементы — Ψ -ячейки (на диодных сборках), которые скачкообразно изменяют коэффициенты ψ_i в ОС по переменным состояниям $\bar{\varepsilon}$. Коэффициенты α_i соответствуют отрицательной ОС в БКК, коэффициенты β_i — положительной ОС, в общем случае $\alpha_i \neq \beta_i$. Число переключаемых структур (ψ_i, ε_i) определяется из условия устойчивости САМ. Управление изменением коэффициентов ψ_i согласно (I5) осуществляет сигнал функции переключения s в (I4), формируемый ФФП, который также входит в состав главной ОС. Переменная состояния ε_6 формируется инерционным фильтром I-го порядка с постоянной времени T_{φ} , охваченным внутренней ОС с переменным коэффициентом ψ_{u*} .

Использование этого фильтра обусловлено наличием оператора дифференцирования в правой части (I2), что влечет разрыв второго рода кусочно-непрерывного управления u . Разрыв непрерывности правой части (I2) влечет разрывность второй производной от независимой переменной состояния управляемых колес. Но скорость изменения угла поворота управляемых колес не может изменяться скачком, т.к. скачок скорости требует бесконечно большой величины момента силы.

Если параметры инерционного фильтра выбраны из условия устойчивости скользящего режима, то синтезированная в пространстве $\bar{\varepsilon}$ САМ в

скользящем режиме не зависит от изменения параметров (I3) и определяется только коэффициентами гиперплоскости скольжения.

В соответствии с (I4), (I5) желаемый скользящий режим требует, чтобы оценщик программатора САМ измерял сигнал ошибки, 4 ее производные и внутреннюю переменную $u^* = \varepsilon_0$. Непосредственно измеряются только сигналы ошибки $\varepsilon_1 = \delta$ и управления u . Все остальные переменные получаются методом преобразования с помощью дифференцирования и фильтра I-го порядка, причем многократное дифференцирование ухудшает оценщик. Поэтому для синтеза САМ переменной структуры целесообразно использовать пространство непосредственно измеряемых переменных состояния. В частности, координаты НЧС по линейному боковому смещению от опорного маршрута передней точки ТР, лежащей на продольной оси симметрии $x_1 = \varepsilon_y$; угловому отклонению продольной оси симметрии ТР от касательной, скользящей по опорной траектории, $x_2 = \varepsilon_\theta$; скорости изменения углового отклонения $x_3 = d\varepsilon_\theta/dt$, углу поворота выходного вала двигателя исполнительного механизма, поворачивающего управляемые колеса, $x_4 = \varphi$; скорости изменения этого угла $x_5 = d\varphi/dt$.

Выполненные исследования динамики САМ в пространстве новых переменных $\bar{x} \in \{x_1, \dots, x_5\}$

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= -K_y x_2 - K_y T_y x_3; \\ \dot{x}_2 &= x_3; \\ \dot{x}_3 &= -\frac{1}{T_{\theta}^{экв}} x_3 + \frac{K_{\alpha}^{экв}}{T_{\theta}^{экв}} x_4; \\ \dot{x}_4 &= x_5; \\ \dot{x}_5 &= -\frac{1}{T_{им}} x_5 - \frac{K_{им}}{T_{им}} u; \\ z &= \sum_{i=1}^4 \psi_i^* x_i; \\ \varepsilon &= \sum_{i=1}^5 C_i^* x_i; \quad i=1,2,3,4 \\ \psi_i^* &= \begin{cases} \alpha_i^* & \text{при } sx_i > 0 \\ \beta_i^* & \text{при } sx_i < 0, \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (I6)$$

Показывает, что выигрыш в реализации высокочастотного скользящего режима идет за счет потери независимости скольжения от параметров НЧС ТР. Результирующая скорость скольжения становится зависимой от параметров НЧС, вследствие изменения положения гиперплоскости скольжения в фазовом пространстве $\bar{x}$ и изменения углов "вхождения" фазо-

вых траекторий, принадлежащих отдельным структурам, в зоне скольжения при изменении параметров (IЗ). Однако свойство ультраустойчивости и требуемая точность воспроизведения $x_{зд}(t)$ сохраняются для всего диапазона (IЗ).

Разработанная методика синтеза САМ переменной структуры позволяет спроектировать управляющие устройства, обеспечивающие воспроизведение опорного маршрута произвольной конфигурации для всего диапазона (IЗ), в условиях действия высокочастотных помех в каналах информации и запаздывания электромеханических устройств НЧС. Повышение чувствительности привода к управлению и нечувствительности САМ к нелинейностям электромеханической части ТР обеспечивается иерархической структурой функции переключения управления, использующей расширенную информацию об измеряемых переменных состоянии привода, и организацией расширенной ОС в БКК.

Результаты испытаний на реальных объектах подтвердили, что концепция конфигурируемого управления позволяет синтезировать универсальную стратегию отслеживания опорного маршрута, компенсирующую отсутствие точной информации о параметрах ТР и режиме его работы.

Раздел 5. Автономные системы автоматического управления транспортными роботами

Анализ информационных элементов ЗТО выполнен в рамках реализации машинного оцувствления ТР как двуединного процесса: получения информации методами технического контроля (измерения) и обработки информации методами преобразования, вычисления, интерпретации. Это позволило обосновать ГАТС на основе специально организованного электромагнитного поля и индукционного способа формирования полезной информации как самостоятельный и перспективный тип транспортных систем среди других альтернативных систем, наиболее приспособленных к производственным условиям.

Специализация информационного обеспечения направлена на решение задачи комплексного управления: движением по перепрограммируемым маршрутам, обеспечивающих основные типы потоков грузов и их произвольную комбинацию; ТО по перепрограммируемой технологии ТПРП; двусторонним обменом информации между территориально удаленным ЛП и рассредоточенными ТР; обеспечением гарантированной безопасности эксплуатации ТР. Рассмотрены вопросы методического, информационного и технического обеспечения автономных локальных СУ ТР-МЛМ, в т.ч. маршрутослежения, адресования к заданной цели, "причаливания" с заданной точностью позиционирования, погрузки-разгрузки, организации активной и пассивной безопасности движения, а также двустороннего обмена сообщениями между ЛП и ТР.

На основе анализа методов организации обмена сообщениями в динамической системе с рассредоточенными ЭВМ разработана структура СОВ для управления двусторонней связью: в заданной точке ЗТО и фиксированный момент прибытия ТР в пункт обмена информацией; в произвольной точке маршрута ЗТО и произвольный момент времени функционирования ТР в ЗТО.

С учетом специфики безразъемного соединения рассредоточенных бортовых ЭВМ ТР и сети канала передачи информации разработан нестандартный индуктивный КС на маршруте с расширенной зоной обмена и аппаратура передачи данных, в т.ч. комбинированного с опто-волоконными линиями связи. При этом сеть индуктивных КС топологически охватывает сеть обслуживаемых маршрутов движения. Фиксированная в пространстве зона устойчивого обмена данными охватывает только коридор управляемых движений, включая предельно допустимые при аварийном (экстренном) торможении ТР. Аппаратура СОВ не создает дополнительных индустриальных радиопомех и не чувствительна к внешним электромагнитным полям силового бортового электрооборудования ТР и обслуживаемых технологических машин и агрегатов.

Раздел 6. Проектирование программных модулей управления роботизированным транспортным комплексом

В структуре информации, обрабатываемой при проектировании ГАТС, наиболее трудоемок первый процедурный блок "Выбор структуры", который, помимо формулировки общего замысла будущей транспортной системы, включает большой цикл работ по этапам технического и рабочего проектов ГАТС. На этапе формирования технического обеспечения проектируемой ГАТС следует особенно тщательно учитывать особенности программно-аппаратных средств общесистемного и специального программного обеспечения (ПО) ГАТС как типичной мехатронной системы.

Отбор вычислительных средств для ГАТС подчиняется решению трех главных задач: 1. Сопряжение силовой электромеханической части оборудования с интегральными схемами и встраиваемыми микропроцессорными средствами. 2. Комплексное управление движением ходовой платформы ТГ и его грузоманипулятора в соответствии с конкретным ТЗ. 3. Связь с человеком, в т.ч. дистанционный контроль за служебным соответствием ТР при исполнении выданного ТЗ.

С другой стороны, модульность и децентрализация программно-аппаратных средств для обеспечения "живучести" ГАТС требуют сочетания универсализации средств управления со специализацией промышленных ТР.

Поэтому проектирование программных модулей управления опирается на такую логику, при которой приоритетными являются общность и расширяемость программно-аппаратного обеспечения, а за встраиваемыми мик-

ропроцессорными средствами закрепляются задачи логического объединения созданного набора типовых функций и координации всех действий в соответствии с поставленной целью. К таким задачам относятся организация сеансов двусторонней связи, ТО, диагностирование ТР и модулей ГАТС для эксплуатационного обслуживания.

Рассматриваются физические принципы адресования с гибким программированием ТПРП первого и второго рода, которые наиболее просто и адекватно реализуются ЭВМ со стековой организацией программируемого процесса. Ликвидация однозначной связи между информационными элементами ИПМ ЗТО и выполняемыми функциями ТР, а также наличие набора подпрограмм реализации типовых функций ТР с унифицированными входами-выходами сенсорной и управляющей информации характеризуют гибкое программирование ТПРП первого рода. Наличие СОИ между распределенной "памятью" транспортного модуля и диспетчерской "памятью" более высокого ранга является отличительной особенностью гибкого программирования ТПРП второго рода.

Разработанные с учетом специфики движущихся ТР и архитектуры бортовых ЭВМ алгоритмы ТО и протокол обмена информацией отличаются универсальностью и удовлетворяют широкому классу ТР. Универсальность обеспечивается декомпозицией алгоритма ТО на элементарные процессы, с помощью которых конструируются программные модули ПО. В частности, программные модули интерпретации ТЗ, координации работы логических бортовых СУ, сеансов связи, синхронизации работы ТР и перегрузочных станций и т.п.

Завершает раздел экономическая оценка применения спроектированной ГАТС. Она показывает, что роботизация грузодвижения с применением тары-оборудования и укрупненных единиц грузопереработки решает две задачи: социальную — ликвидирует монотонный, малопrestижный и часто неквалифицированный труд в сфере транспортно-складского обслуживания предприятий; экономическую — создает организационные и технические средства управления объемами незавершенного производства, роста производительности труда, снижения себестоимости продукции, сохранности движущихся материальных ценностей и приемлемый срок окупаемости капитальных затрат потребителя (менее 1,5 года), даже при условии изготовления основных компонентов ГАТС силами завода-потребителя или пользователя.

Основные выводы и результаты работы

1. Предлагаемая методология построения наукоемкого транспортно-перегрузочного комплекса на базе ТР в рамках практической реализации системного подхода включает:

анализ целостности техники и технологии ТПРП как органической части существования производственного процесса;

синтез организационно-технической структуры и выделение приоритетных модулей, компонентов и программно-аппаратных средств, обеспечивающих важнейшие свойства ГАТС – гибкость, маневренность, целевую направленность оборудования и универсальность средств управления для взаимодействия с открытыми производственными системами;

постановку и анализ многоплановости проблем в транспортно-перегрузочной системе как типичной мехатронной системе и выделение ее приоритетных целей;

анализ взаимосвязности и многорежимности основного компонента ГАТС – независимой композиции "ТР-МПМ" – и выделение главных рабочих режимов;

выделение пакетов задач, общих для широкого класса внутривозовских машин и ТПРП, и обоснование специализации программно-аппаратных средств для решения этих задач в соответствии с выдвинутыми концепциями управления основными процессами ГАТС;

классификации транспортных систем и способов грузопередачи, колесных ТС, ходовых и грузоманипуляционных платформ, силовых приводов и средств очувствления ориентированием, наведением и локацией по признакам реализации процесса управляемого маршрутослежения и выбор метода формализации этого процесса;

формирование перечня критериев и оценок сравнения эффективности комплекса СУ, анализ и обоснование приоритетности критерия безопасности движения ТР;

формализацию процесса ТО и выделение приоритетности процесса двустороннего обмена информацией для реализации программирования ТО второго рода, классификацию методов, способов и средств обмена и синтез СОИ с распределенными движущимися и/или неподвижными ТР;

структуризацию ГАТС и систематизацию функций и связей внутри и между модулями ГАТС, сопрягаемыми с открытыми производственными системами, информационную карту технических средств, отражающую потребности способы получения, обработки, преобразования, передачи и интерпретации информации, и группировку функциональных элементов в подсистемы управления и специальные устройства.

2. Рекомендуемая методика формализации процесса управляемого дви-

жения по предписанной траектории произвольного вида для ТС с эластичными и самоориентирующимися колесами включает:

новую постановку задачи, аналитическое описание движущегося объекта с качением без проскальзывания системы упругих и жестких тел по твердой шероховатой поверхности и получение моделей ТР методами функционального преобразования и системной динамики;

постановку задачи идентификации параметров модели ТР и развитие методов экспериментального исследования динамики разнообразных аналогов ТР и промышленных образцов ТР на основе разработанных специализированных измерительно-регистрирующих комплексов и методик обработки экспериментальных данных;

анализ динамики ТР с уводом и "флюгерным" эффектом СОК и установление связи конструктивной управляемости ТР с явлением компенсации нулей и полюсов либо появлением положительных нулей и полюсов в полюсно-нулевом представлении ТР;

анализ влияния режимных параметров, в т.ч. переменного количества шарнирно-сочлененных прицепов, и установление связи между изменением режимных параметров и типом динамических свойств эквивалентной модели ТР с переменными коэффициентами или вида его фазового портрета;

обоснование изменения управляемости ТР в режиме движения задним ходом и установление связи между режимами управляемых движений вперед-задним ходом и полюсно-нулевым представлением ТР за счет смены типа ходовой платформы и нарушения условия конструктивной устойчивости управляемого движения в режиме движения задним ходом;

установление возможности активизировать процесс перераспределения нулей и полюсов за счет целенаправленного выбора точек съема информации траекторного ориентирования и скоростного режима транспортирования.

3. Разработанные теоретические основы построения САМ для ТР на конструктивной основе систем с качением эластичных и СОК включают:

концепцию конфигурируемого управления маршрутослежением, ориентированную исключительно на "возможности" технической САМ и образующую единство конструкции, средств управления и условий эксплуатации;

реализацию содержания и формы конфигурируемого управления через иерархическую структуру сравнения, образующую множество типов ОС в САМ средствами СПС, по своим совокупным свойствам приближающуюся к иерархической структуре вождения человека-водителя;

анализ и синтез САМ со специальным управлением из класса разрывных функций с управляемыми моментами разрывов в скользящем режиме, а также получение условий существования устойчивого скольжения в САМ,

обеспечивающего приоритетность воспроизведения с требуемым качеством предписанной траектории движения на всех режимах эксплуатации;

методологию исследования САМ переменной структуры, включающей взаимодействие траекторной оценки и оценки силовой исполнительной части ТР, достоверность информации оценщика САМ и полноту главной ОС по переменным состояниям НЧС ТР;

методологию технического решения и результаты испытаний реализованных САМ на ТР буксирного и грузонесущего типов.

4. Предлагаемая методология анализа и синтеза автономных подсистем ГАТС, подчиненных формированию компоновочно- и технологической гибкости независимой композиции "ТР-МПИ", включает:

систематизацию принципов построения основных элементов информации ЭТО и средств очувствления ТР, обоснование перспективности развития ТР с электромагнитным заданием и распознаванием полезной информации как самостоятельного типа в общей классификации экономических промышленных транспортных машин;

специализацию машинного очувствления ТР на решение самостоятельных подзадач комплексного управления движением по перепрограммируемым маршрутам, ТО по перепрограммируемой технологии ТПП, обменом информацией между территориально удаленным ДП и рассредоточенными ТР и обеспечения гарантированной безопасности функционирования ТР;

техническую реализацию комплекса средств очувствления в рамках двуединого процесса получения информации методами технического измерения и обработки информации методами преобразования и интерпретации, подчиненных разработанным стратегиям управления, наборам процедур с причинно-следственными связями и требованиями экономической целесообразности;

техническую реализацию структур и связей САМ, САА, СОИ и СБ, разработку имитационных моделей ТР и результаты имитационного моделирования ГАТС в виде обоснованных рекомендаций пространственного, конструктивного, функционального и логического сопряжения управляющих подсистем с основными компонентами архитектуры ТР;

алгоритмы и программные модули, нечувствительные к многообразию исполнения ТР, открытые для расширения набора типовых функций ТР и ориентированные на малогабаритные интеллектуальные программируемые контроллеры с низким отношением стоимость/функция и высокой совместимостью с разнотипным силовым электрооборудованием и механизмами;

организационно-техническую реализацию циркулирования информационных потоков в ГАТС, опирающуюся на сеть разработанного нестандартного КС, топологически охватывающую ЭТО и связывающую бортовые ведомые ЭВМ ТР и стационарную ведущую ЭВМ ДП, созданную структуру СОИ и реко-

мендуемое взаимодействие ЭВМ внутри СОИ, ориентированные на протокол обмена, разработанный с учетом специфики безразъемного подключения ЭВМ ТР к сети нестандартного КС, регулируемой скорости передачи информации и помехозащищенности в условиях промышленных радиопомех и электромагнитных излучений силового электрооборудования цеха.

5. Внедрение в масштабах народного хозяйства теоретических положений и технических решений при проектировании, изготовлении и эксплуатации транспортно-перегрузочных комплексов с применением тары-оборудования и укрупненных единиц грузопереработки из ряда 0,05... 3,2 т позволяет экономить значительные материальные средства и людские ресурсы за счет управления объемами незавершенного производства (его снижения), сохранности движущихся материальных ценностей, снижения себестоимости продукции и сопутствующих капитальных вложений потребителя ГАТС, высвобождения рабочих из обслуживающей сферы производства или от совмещения операций "транспортировка", "перегрузка" на уровне производственного участка, линии, цеха или завода и ликвидации монотонного и малопrestижного человеческого труда в сфере транспортно-складского обслуживания.

6. Разработанные в диссертации научные положения и рекомендации были использованы: в испытательной практике полигона НАМИ при комплексных исследованиях устойчивости и управляемости транспортных машин; в проектной практике ВНИИэлектротранспорта, НПО ЭНИМС, ВНИПТИ ИФ с опытными производствами при создании перспективных образцов промышленных транспортных машин нового поколения и комплексов СУ; в проектах реконструкции и технического перевооружения предприятий новыми средствами автоматизации ТПП на заводе пиво-безалкогольных напитков "Черномор" ОПО ПБП, подземном Криковском комбинате шампанских и марочных вин (ССР Молдова); в проектах реконструкции ТО на п/я Р-654I, п/я А-7949; в проекте модернизации колесного складского оборудования и автоматизации складских комплексов Госснаба СССР.

7. В диссертации на основе теоретического обобщения результатов выполненных исследований решена научная проблема, состоящая в разработке и практической реализации системного подхода к построению транспортных машин и ГАТС из класса мехатронной техники, обеспечивающие повышение технико-экономических показателей производственной структуры и улучшение социального уровня предприятия.

Основные опубликованные работы по теме диссертации

1. Драгаев В.П. Транспортные роботы для автоматизированного производства. Монография. - Киев: Изд-во Лыбидь при КГУ, 1991. - 240 с.
2. Драгаев В.П. Две концепции управления // Пром. транспорт. - 1986. - № 11. - С. 21 - 23.

3. Драгаев В.П. Управление транспортными роботами в автоматизированных цехах//Всесоюз. науч. конф. "Проблемы создания и внедрения гибких производственных и робототехнических комплексов на предприятиях машиностроения". - Одесса, 1986. - С. 162 - 164.
4. Драгаев В.П. Система обмена информацией между движущимися транспортными роботами и диспетчерским пунктом транспортного обслуживания//Всесоюз. науч. конф. "Проблемы создания и внедрения гибких производственных и робототехнических комплексов на предприятиях машиностроения". - Одесса, 1989. - С. 140 - 143.
5. Самонастраивающаяся оптимальная по быстродействию система управления/Долгозвяг В.А., Драгаев В.П., Бундюк А.Н., Миронов И.С.//Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Львов, 1969. - Вып. 8. - С. 28 - 32.
6. Кринецкий И.И., Драновский А.И., Драгаев В.П. Математическая модель машины как объекта автоматического управления//Исследование динамики объектов систем автоматического управления: Респ. науч.-техн. сб. - Кишинев, 1970. - Вып. 19. - С. 26 - 34.
7. Кринецкий И.И., Драгаев В.П., Драновский А.И. Исследование системы автоматического вождения колесной машины по заданной траектории//Тр. Всесоюз. конф. "Механическая тяга в горном земледелии". - Батуми, 1971. - Тбилиси: Мецниереба. - С. 46 - 60.
8. Драгаев В.П., Майборода О.В. Методика и аппаратура для экспериментального определения динамических характеристик колесных машин/Научн.-техн. реф. сб./Минвуз УССР, сер. "Радиоэлектроника, автоматика и связь". - Киев: Выща школа, 1971. - Вып. 4. - С. 46 - 48.
9. Драгаев В.П. Исследование динамики колесной машины и выбор оптимального закона управления на электронной модели//Кринецкий И.И., Драновский А.И. Автоматическое вождение колесных и гусеничных машин по постоянным трассам. - М.: Машиностроение, 1971. - Гл. 5. - С. 122 - 145.
10. Кринецкий И.И., Драгаев В.П. Применение принципа переменности структуры к построению адаптивной системы вождения//Респ. научн. конф. "Средства автоматизации: системы управления". - Севастополь, 1972. - С. 35 - 37.
11. Драгаев В.П., Майборода О.В., Платонов П.Н. Аналитическое и экспериментальное исследование колесной машины как объекта автоматического управления//Всесоюз. семинар по устойчивости и управляемости автомобиля. - М.: НАМИ, 1972. - С. 18 - 19.
12. Кринецкий И.И., Драгаев В.П. Автоматическое вождение машин по заданным трассам при помощи индукционного метода//Транспортная кибернетика: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - Киев: Изд-во КГУ, 1972. - Вып. 2. - С. 97 - 105.

13. Драгаев В.П., Майборода О.В. Измерительно-регистрирующий комплекс для определения динамических характеристик автомобиля// Автомобильная пром., 1975. - № 10. - С.22 - 24.
14. Драгаев В.П., Гончаренко А.Е., Майборода О.В. Измерительный комплекс аппаратуры для исследования динамических характеристик колесных транспортных машин/Научн.-техн.реф.сб./Минвуз УССР, сер. "Радиоэлектроника, автоматика и связь". - Киев:Выща школа, 1975. Вып.8. - С.50 - 52.
15. Драгаев В.П., Галиулин А.А., Гончаренко А.Е. Измерительные преобразователи для определения курсового угла транспортных средств// Респ. научн. конф. "Физические основы построения первичных измерительных преобразователей". - Винница, 1977. - Ч.2. - С.66 - 67.
16. Платонов П.Н., Драгаев В.П., Гончаренко А.Е. Система автоматического управления с адаптацией по параметру скользящего режима// Респ. научн.-техн.сб.: Адаптивные системы автоматического управления. - Киев:Техника, 1975. - Вып.3. - С.53 - 59.
17. Драгаев В.П., Погирный Ю.В. Эффективность использования транспортных роботов при создании гибких автоматизированных производств// Всесоюз. науч. конф. "Экономические проблемы создания эффективных автоматизированных и робототехнических систем". - Орджоникидзе, 1984. - С.32 - 35.
18. Драгаев В.П., Погирный Ю.В. Транспортные роботы в гибких автоматизированных системах перемещения штучных грузов на складах и предприятиях пищевой промышленности// Респ. научн.-техн. конф. "Пути сокращения применения ручного труда в отраслях пищевой промышленности". - Запорожье, 1984. - С.1 - 3.
19. Драгаев В.П. Гибкая автоматическая транспортная система в составе гибкого автоматизированного производства// Отрасл. научн.-практ. конф. "Динамика и адаптация технологических систем машиностроения". - Тольятти, 1986. - С.60 - 61.
20. Гибкая автоматическая транспортная система на базе транспортных роботов (робокар)/ Драгаев В.П., Платонов П.Н., Хацак А.А. // ВДНХ УССР. - Одесса, 1989. - 4 с.
21. ГОСТ СССР 28336-89. Системы производственные гибкие. Робокары. Основные параметры. Введен с 01.01.91 до 01.01.96. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 7 с.
22. Проект СТ СЭВ. Системы производственные гибкие. Самоходные тележки (робокары). Классификация. Термины и определения.
23. Драгаев В.П., Платонов П.Н. Системы управления транспортными роботами для транспортно-складских процессов// Всесоюз. научн. конф. "Адаптивные роботы". - Нальчик, 1982. - С.5 - 6.

24. А.с. 311253 СССР, МКИ G05B 23/00. Устройство для регистрации траектории движения автомобиля / В.П. Драгаев, О.В. Майборода (СССР) - № 1422489/18-24. Заявл. 25.03.70; опубл. 09.08.71, Бюл. № 24.
25. А.с. 377102 СССР, МКИ A01B 69/04. Устройство автоматического управления движением транспортного средства / В.П. Драгаев, П.Н. Платонов, В.А. Долгозвяг (СССР). - № 1624098/27-II. Заявл. 03.02.71; опубл. 17.04.73. Бюл. № 18.
26. А.с. 471872 СССР, МКИ A01B 69/04, G05D 1/03. Устройство автоматического управления движением транспортного средства / П.Н. Платонов, В.П. Драгаев, А.Е. Гончаренко (СССР). - № 1295536/27-II. Заявл. 21.03.73; опубл. 30.05.75. Бюл. № 20.
27. А.с. 495579 СССР, МКИ G01M 17/06. Устройство для регистрации динамических характеристик колесных транспортных средств / В.П. Драгаев, П.Н. Платонов, А.Е. Гончаренко и др. (СССР). - № 1932567/27-II. Заявл. 15.06.73; опубл. 15.12.75. Бюл. № 46.
28. А.с. 613644 СССР, М.Кл.² G06G 7/78. Устройство для определения курсового угла транспортного средства / В.П. Драгаев, А.А. Галиулин (СССР). - № 2439788/18-24. Заявл. 30.12.76. Публ. запр.
29. А.с. 615387 СССР, М.Кл.² G01M 17/06. Устройство для регистрации динамических характеристик колесного транспортного средства / В.П. Драгаев, А.А. Галиулин (СССР). - № 2435337/25-II. Заявл. 30.12.76; опубл. 15.07.78. Бюл. № 26.
30. А.с. 770376 СССР, МКИ³ G08G 1/01, G06G 7/78. Устройство для измерения курсового угла транспортных средств / П.Н. Платонов, А.А. Галиулин, В.П. Драгаев (СССР). - № 2741451/18-24. Заявл. 19.02.79. Публ. запр.
31. А.с. 830493 СССР, М.Кл.³ G08G 1/01, B61L 1/08. Устройство для управления движением автоматического транспорта / В.П. Драгаев, В.В. Волошин, Ю.В. Погирный (СССР). - № 2794505/18-24. Заявл. 10.07.79; опубл. 15.05.81. Бюл. № 18.
32. А.с. 847950 СССР, М.Кл.³ A01B 69/04, G05D 1/03. Устройство автоматического управления движением транспортного средства / В.П. Драгаев, В.В. Волошин, Ю.В. Погирный (СССР). - № 2831416/18-24. Заявл. 12.10.79; опубл. 23.07.81. Бюл. № 27.
33. А.с. 945031 СССР, М.Кл.³ B65G 63/00, G05D 1/02. Система для управления выбором маршрута автоматически движущимся транспортным средством / В.П. Драгаев (СССР). - № 2989573/27-II. Заявл. 29.09.80; опубл. 23.07.82. Бюл. № 27.
34. А.с. 1202982 СССР. Кл. B65G 63/00. Устройство для управления автоматически движущимся по заданному маршруту транспортным средством / А.А. Галиулин, Ю.В. Погирный, В.П. Драгаев (СССР). - № 3770187/27-II. Заявл. 25.07.84; опубл. 7.01.86. Бюл. № 1.

35. А.с. 1262458 СССР, МКИ G05D 1/03. Устройство для управления движением транспортного средства / В.П.Драгаев, Ю.В.Погирный (СССР). - № 3743815/24-24. Заявл. 17.05.85; опубл. 7.10.86. Бюл. № 37.
36. А.с. 1320828 СССР, МКИ G 08G 1/01, В 61L 3/08. Устройство для управления движением автоматического транспорта / В.П.Драгаев, Ю.В.Погирный (СССР). - № 4008012/27-II. Заявл. 3.01.86; опубл. 30.06.87. Бюл. № 24.