

## ВВЕДЕНИЕ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси (ОИМ НАН Беларуси) создан 8 июня 2006 г. в результате реорганизации Института механики и надежности машин НАН Беларуси в форме присоединения к нему Научно-инженерного республиканского унитарного предприятия «Белавтотракторостроение» во исполнение постановления Президиума НАН Беларуси от 17.05.2006 г. № 45 «О реорганизации Государственного научного учреждения «Институт механики и надежности машин Национальной академии наук Беларуси».

ОИМ НАН Беларуси выполняет комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в интересах машиностроения и иных отраслей народного хозяйства Республики Беларусь в рамках государственных, региональных и отраслевых научно-технических программ, а также государственных фундаментальных и прикладных программ научных исследований и прямых хозяйственных договоров.

ОИМ НАН Беларуси — головная организация-исполнитель подпрограммы «Автомобилестроение, специальная техника, автотракторная электроника и электромеханика» Государственной научно-технической программы «Машиностроение» на 2006—2010 гг., Государственной целевой программы развития автотракторостроения и комбайностроения Республики Беларусь на 2003—2005 гг. и на период до 2010 г. «Автотракторокомбайностроение» и Государственной комплексной программы научных исследований «Механика» на 2006—2010 гг.

Институт осуществляет научное обеспечение и руководство, научно-организационное сопровождение 5 подпрограмм ГНТП «Машиностроение» в которых участвует 80 организаций. Общая сумма бюджетного финансирования в 2006 г. составила более 13,0 млрд. рублей.

Для дальнейшей реализации принципов, подтвердивших на практике свою эффективность, и с целью научного обеспечения

отечественного машиностроения на период 2006—2010 гг. Президиумом НАН Беларуси разработана и утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь за № 1117 от 31 августа 2006 г. Государственная комплексная целевая научно-техническая программа «Машиностроение», включающая: Государственные научно-технические программы «Машиностроение», «Технологии и оборудование машиностроения» и «Городское хозяйство», а также Государственные комплексные программы научных исследований «Механика» и «Техническая диагностика», Государственную программу прикладных исследований «Металлургия».

Генеральный директор Института академик М.С.Высоцкий назначен заместителем председателя координационного совета и заместителем руководителя программы; на него также возложено научно-организационное обеспечение работы координационного совета ГКЦНТП «Машиностроение» от НАН Беларуси.

В состав ГКЦНТП «Машиностроение» включены государственные программы, на которые возложено научное обеспечение машиностроительного комплекса республики. Основной вклад здесь принадлежит Государственной комплексной программе научных исследований (ГКПНИ) «Механика», включающей ориентированные фундаментальные и прикладные исследования.

## ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

В рамках ГНТП «Машиностроение» в 2006—2007 гг. Республиканским компьютерным центром машиностроительного профиля (РКЦМП), Научно-техническим центром «Автотракторной электроники и электромеханики» и другими структурными подразделениями ОИМ НАН Беларуси проведены работы по математическому моделированию, виртуальным испытаниям, динамическим и прочностным расчетам, исследования технических, конструктивных и стилевых решений автотракторной техники (седельных среднетоннажных, бортовых и многосезонных автопоездов, низкопольных и супернизкопольных автобусов, автощеповозов, автопоездов и самосвальной техники большой и особо большой грузоподъемности до 50 т, колесных тракторов различного тягового класса и др.).

Предприятиям-изготовителям автотракторной техники переданы основные разработки:

### **Для РУП «Минский автомобильный завод»**

По заданию АТ-01.16 для среднетоннажного седельного автопоезда разработаны дизайнерские решения тягача, компоновки кабины с размещением спального места в дополнительной надстройке (рис. 1). Разработка дизайнерских решений проводилась в лицензионном пакете промышленного дизайна ICEM/Surf с учетом экспертной оценки влияния новых элементов кузова на обтекаемость автопоезда для снижения его аэродинамического сопротивления при движении.

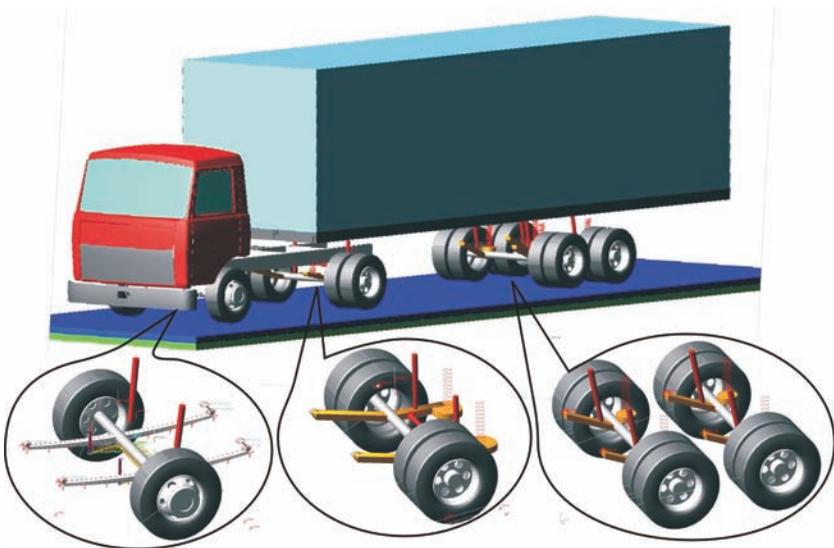


**Рис. 1 – Автопоезд с тягачом МАЗ-4471:  
а – серийный; б – дизайнерское решение**

Разработана полнокомплектная динамическая модель автопоезда с помощью лицензионного программного обеспечения для кинематического и динамического анализа MSC.ADAMS, посредством которой проведена расчетная оценка соответствия усилия на рулевом колесе действующим стандартам, дана оценка согласования кинематики рулевого управления и подвески, проведена оптимизация параметров рулевой трапеции по критерию износа шин (рис. 2 и 3).

Для оценки на стадии проектирования долговечности несущих деталей автомобилей по критериям многоциклового усталости выполнена модернизация программного обеспечения «Resurs-ADAMS» (акт передачи и внедрения в ЦНИЛ САПР РУП «МАЗ» от 20.12.2006 г.). В качестве исходных данных по нагруженности конструкции используются процессы нагружения, полученные для узлов конечно-элементной модели в лицензионном пакете программ для кинематического и динамического анализа MSC.ADAMS (рис. 4).

По заданию АТ-01.17 разработаны технические требования к внешнему виду и интерьеру супернизкопольного городского автобуса второго поколения. Разработана трехмерная модель и изготовлен демонстрационный макет автобуса методом быстрого прототипирования (рис. 5). Выполнена расчетная оценка тягово-скоростных и



**Рис. 2 – Динамическая модель среднетоннажного седельного автопоезда в среде MSC.ADAMS**

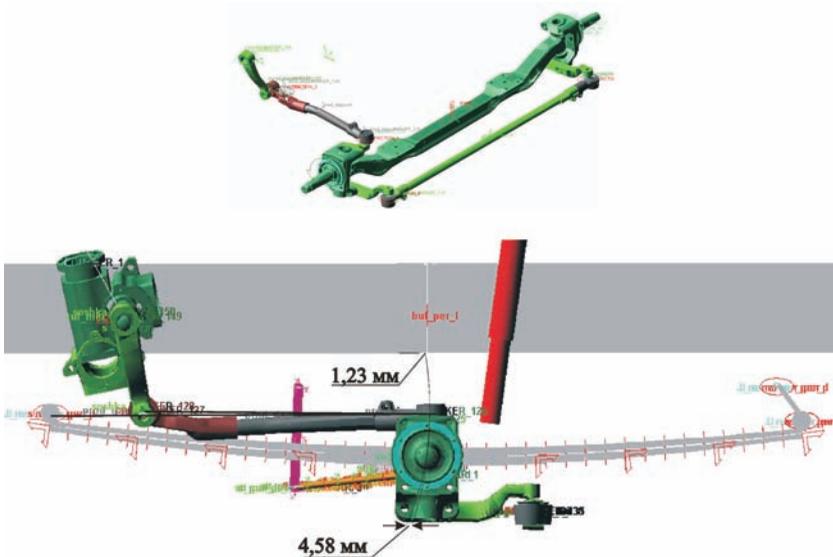


Рис. 3 – Рулевое управление среднетоннажного седельного автопоезда в среде MSC.ADAMS

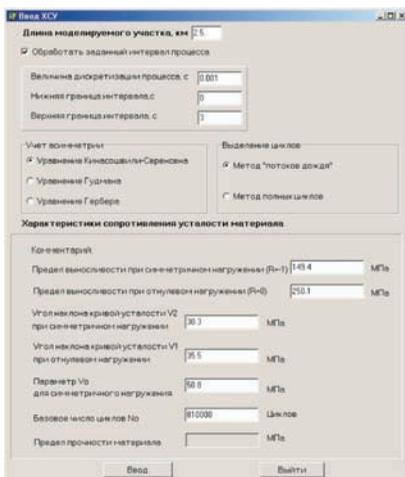


Рис. 4 – Программное обеспечение «Resurs-ADAMS»: а – пример окна ввода характеристик сопротивления усталости и задания методов схематизации процесса нагружения; б – акт передачи и внедрения

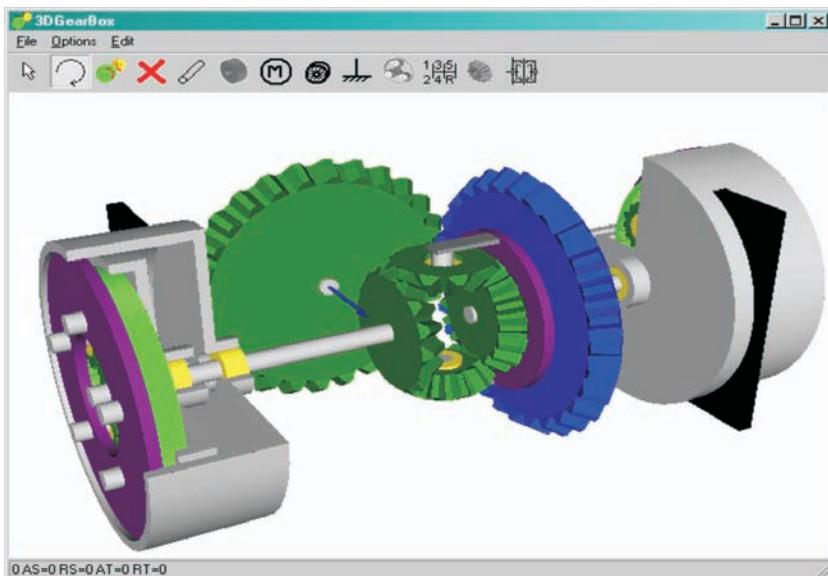


**Рис. 5 – Супернизкопольный городской автобус МАЗ-203: а – трехмерная модель; б – демонстрационный макет; в – полномасштабный макет**

топливно-экономических свойств супернизкопольного городского автобуса второго поколения.

По заданию АТ-01.19 по созданию автопоездов нового поколения повышенной грузопместимости для международных и междугородних перевозок разработано оригинальное программное обеспечение для визуализации расчетов зубчатых колес при проектировании редукторных узлов трансмиссии автомобилей (рис. 6), позволяющее проводить моделирование многовенцовых сателлитов, бипланетарных механизмов, механизмов с несколькими степенями свободы, конических планетарных механизмов, проведение кинематического расчета замкнутых планетарных механизмов.

Создана динамическая модель системы поддрессоривания кабины (рис. 7). Анализ полученных результатов показал, что наибольшее влияние на вибронегруженность кабины в точке установки водительского сиденья оказывают пневмобаллоны, в то время как упругие элементы не имеют подобного влияния. Проведены расчеты параметров



**Рис. 6 – Программное обеспечение для визуализации расчетов зубчатых колес**

системы поддресоривания и выбор оптимальных характеристик по уровню ее вибронегруженности.

По заданию АТ-01.22 разработаны технические требования и технико-экономическое обоснование конструкции на создание контейнерного автощеповоза с емкостью контейнера 35-40 м<sup>3</sup> с механизмом



**Рис. 7 – Общий вид автопоезда (а) и сборки модели системы поддресоривания кабины (б)**

саморазгрузки контейнера типа «мультилифт». Выбрана расчетная компоновочно-кинематическая схема и разработана методика обоснования нагрузочных режимов контейнерных конструкций и параметров механизма погрузки типа «мультилифт». Проведены расчеты механизма погрузки/выгрузки контейнерных конструкций типа «мультилифт» и дана оценка нагруженности конструкции в режиме разгрузки щепы с различными вариантами объема контейнера. Проведено динамическое моделирование нагруженности элементов конструкции автомобиля при подъеме, установке и снятии грузевого контейнера с шасси. Даны рекомендации по выбору параметров механизма типа «мультилифт» (рис. 8).

По заданию АТ-01.23 разработаны технические требования и технико-эксплуатационные рекомендации на создание прицепного автопоезда-щеповоза. Разработаны дизайнерские решения кабины и бампера автопоезда-щеповоза с учетом аэродинамики автопоезда и с сохранением всех элементов, присущих выпускаемым моделям автомобилей МАЗ (рис. 9), и обеспечением объема кузова 68 м<sup>3</sup>. Во исполнение поручений по обеспечению энергобезопасности Республики Беларусь и созданию комплекса лесохозяйственной техники активизированы работы по автомобилям-щеповозам и с опережением графика на РУП «МАЗ» изготовлен опытный образец автопоезда.

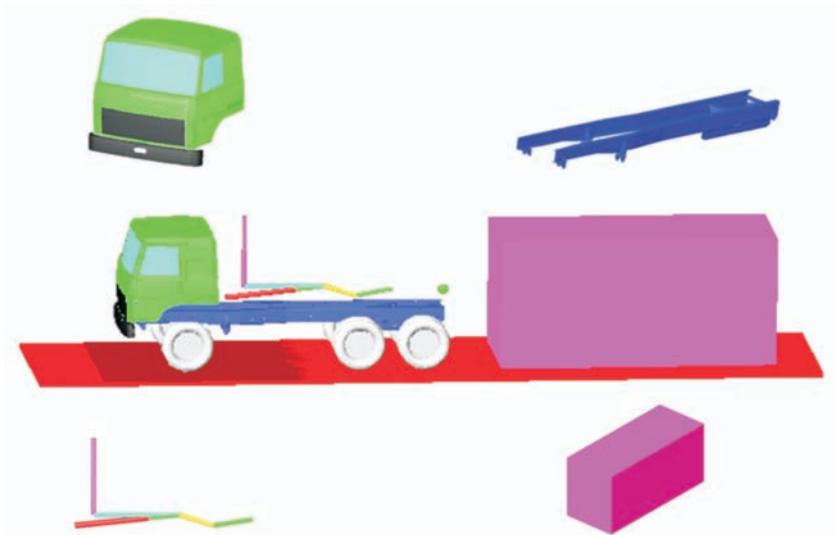


Рис. 8 – Модель автомобиля, оборудованного системой типа «мультилифт»



**Рис. 9 – Внешний вид автопоезда-щеповоза:  
а – опытный образец; б – вариант дизайнерского решения**

По заданию АТ-01.21 выполнен расчет тягово-скоростных топливно-экономических свойств, на основе которых даны рекомендации для разработки технического задания.

Создана интегрированная электронная система управления электрооборудованием автобуса; система прошла натурные испытания и готова к серийному производству на НПРУП «Экран»: 2006г. — 10 шт., 2007г. — 100 шт., 2008г. — 310шт.

Создана интегрированная электронная система управления подвеской подвижного состава; система прошла натурные испытания и готовится к серийному производству на НПРУП «Экран»: 2007г. — 20 шт., 2008г. — 280 шт.

Выполнен комплекс НИОКР по созданию электронной системы управления торможением прицепного транспортного средства с функцией обеспечения устойчивости движения. Производство системы планируется на НПРУП «Экран» в объеме: 2008г. — 3 шт., 2009г. — 25 шт., 2010г. — 110 шт.

Проведены испытания экспериментального образца электронной системы управления механической коробкой передач в составе автомобиля.

### **Для РУП «Минский завод колесных тягачей»**

По заданию АТ-03.22 с учетом тенденций развития конструктивных и стиливых исполнений дорожных автопоездов грузоподъемностью до 50т разработан комплект дизайнерских решений внешнего вида дорожного автопоезда, основной целью которых являлся поиск отличительных стиливых решений для автомобилей и автопоездов МЗКТ. В пакете промышленного дизайна ICEM/Surf построены трехмерные модели внешнего вида на основании эскизных решений (рис. 10).

Определены массовые и геометрические параметры базового шасси МЗКТ, выбраны параметры трансмиссии на основе расчета

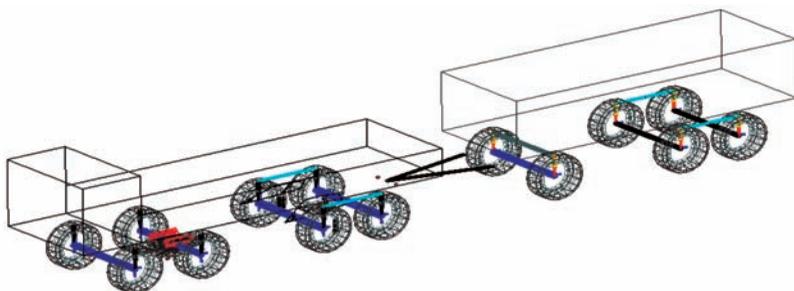


**Рис. 10 – Внешний вид тягача дорожного автопоезда МЗКТ грузоподъемностью до 50 т: а – опытный образец; б – вариант дизайнерского решения**

тяговой динамики и топливной экономичности. Моделированием в пакете MSC.ADAMS определены параметры ходовой части автопоезда (рис. 11). Выбраны геометрические параметры поперечных сечений лонжеронов рамы и надрамника, показано распределение напряжений и деформаций в элементах рамы. Выбраны параметры многосθενного гидроцилиндра подъема платформы самосвала для двухсторонней боковой и задней разгрузки.

Разработаны конечно-элементные модели рамы колесного шасси МЗКТ 8x4 и выполнен анализ ее напряженно-деформированного состояния. Выявлены локальные пики напряжений (рис. 12).

Определены показатели плавности хода для различных типов дорог и действительные значения углов поворота управляемых колес и ширина коридора по крайним наружным точкам бампера. Выполнен расчет поперечной устойчивости и определены критические углы крена при подъеме платформы. Разработаны модели и соответствующее программное обеспечение и проведен расчет кинематических и динамических параметров узлов трансмиссии (рис. 13).



**Рис. 11 – Модель автопоезда МЗКТ в составе самосвала-тягача 8x4 и трехосного самосвального прицепа**

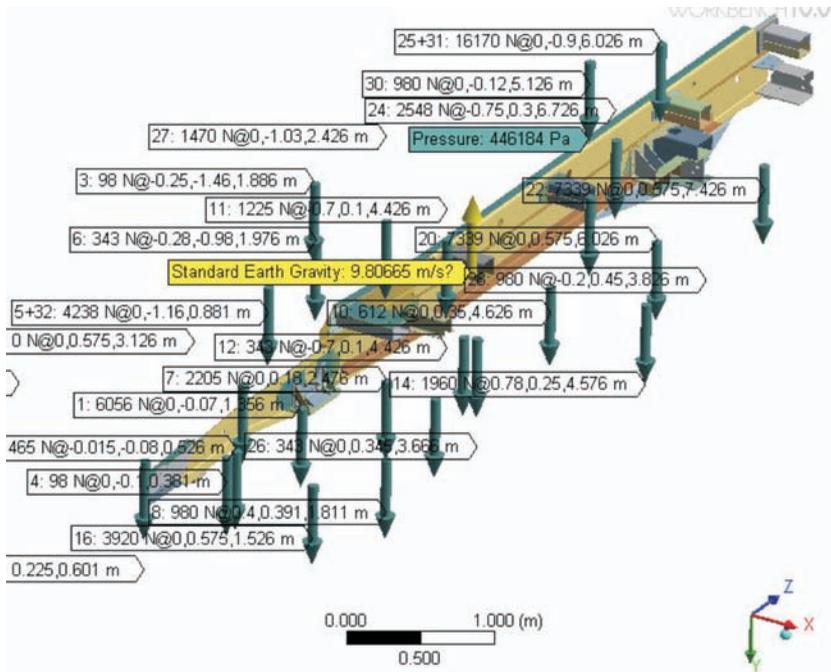


Рис. 12 – Расчетная схема рамы при опоре на оси всех колес в транспортном режиме

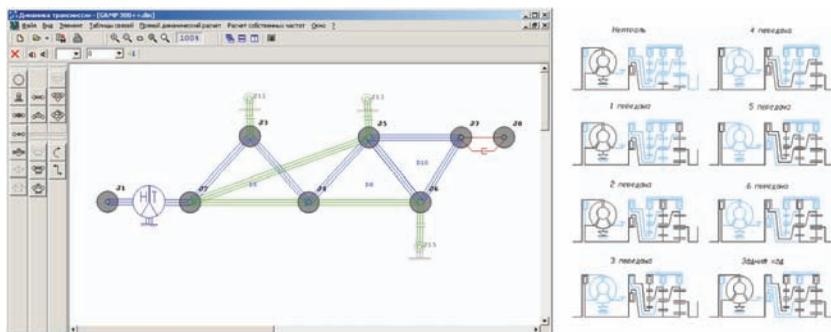


Рис. 13 – Динамическая схема трансмиссии автомобиля-тягача автопоезда грузоподъемностью до 50 т

Выполнен расчет балки задних мостов в статическом состоянии и при переезде через препятствие. Определены нагрузочные режимы и выполнен расчет ведущих мостов и колесной передачи на прочность.

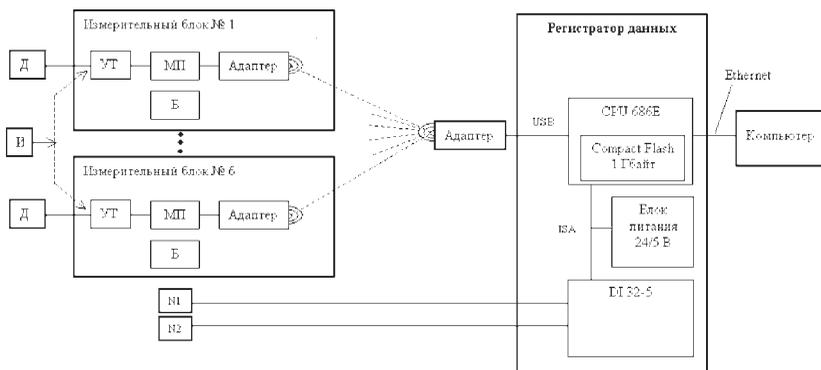
Разработана методика исследований и архитектура системы измерений фактической эксплуатационной нагруженности несущих конструкций базового шасси автопоезда с беспроводной передачей данных (рис. 14).

Проведены натурные испытания на автомобиле экспериментального образца унифицированной электронной системы автоматического и командного управления гидромеханическими трансмиссиями, по результатам которых заключен хоздоговор между МЗКТ и НПО «Интеграл» на изготовление опытных образцов системы в 2007 г. с последующей организацией ее производства.

### Для РУП «Минский тракторный завод»

По заданию АТ-02.30 совместно с ГСКБ ПО МТЗ проведен комплекс НИР по созданию трактора XXI века мощностью 360...380 л.с. (рис. 15), получен патент №870 на промышленный образец и изготовлен опытный образец трактора, на базе которого начаты работы по созданию мобильного энергетического средства (МЭС).

По заданию АТ-02.32, в рамках которого создаются типоразмерные ряды трансмиссий повышенного технического уровня для тракторов мощностью 90...420 л.с., разработана методология построения типоразмерных рядов систем управления для гаммы новых трансмиссий перспективных энергонасыщенных тракторов, разрабатываемых заводом. В рамках предложенной методологии разработано 6 комп-



ДТ – датчик тензометрический, УТ – усилитель тензометрический, МП – микропроцессор с аналого-цифровым преобразователем, Б – батарея питания, И – инвертор сигналов тензодатчика, N1 – датчик частоты вращения коленвала двигателя, N2 – датчик скорости автомобиля, CPU 686E – центральный процессорный блок, DI 32-5 – модуль ввода дискретных сигналов

**Рис. 14 – Функциональная схема телеметрической системы**

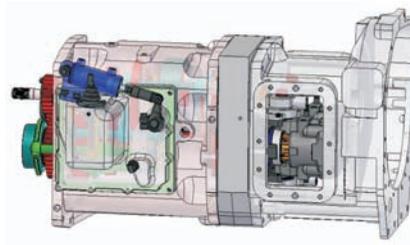


**Рис. 15 – Трактор XXI века —  
прообраз мобильного энергетического средства (МЭС)**

лектов КД эскизных компоновок микропроцессорных систем управления ступенчатыми полуавтоматическими трансмиссиями мощностью 80...100 л.с., 120...150 л.с., 180...210 л.с., 250...300 л.с., 350...420 л.с., автоматической трансмиссии мощностью 180...240 л.с. Системы строятся на базе унифицированного ряда программно-аппаратных средств, позволяющих повысить серийность используемых компонентов и, как следствие, снизить стоимость их серийного производства, разработки и эксплуатации. Планируется их производство на НПО «Интеграл».

Разработана методика и базовые модули программы синтеза планетарных модулей на основе многозвенных механизмов для перспективных коробок с переключением передач под нагрузкой, а также разработаны базовые программные модули синтеза объемных гидромеханических коробок передач (ОГМКП). Программное обеспечение позволяет конструктору выбирать параметры трансмиссий нового класса. Разработаны методы синтеза схем бесступенчатых трансмиссий и для коробок с переключением передач под нагрузкой.

Базовые модули программы синтеза бесступенчатых и планетарных коробок передач обеспечивают синтез 3-, 4- и 5-звенных планетарных механизмов на основании задаваемых пользователем требований к скоростному ряду и ограничений по оборотам и геометрическим параметрам элементов планетарных механизмов (рис. 16).

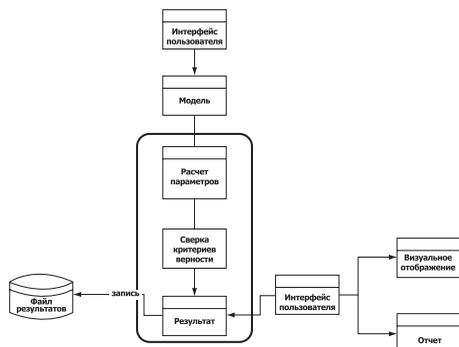


**Рис. 16 – Общий вид ОГМКП**

Проведен синтез и расчет кинематических параметров ОГМКП переменной структуры, которая позволяет сократить установочные мощности гидромашин и получить высокий КПД трансмиссии. Установлено, что наилучшие показатели трансмиссии достигаются при использовании дифференциальных механизмов с совмещенными звеньями.

Разработан программный комплекс, позволяющий проводить расчет силовой цепи трансмиссии. Программный комплекс состоит из набора отдельных программ, которые обеспечивают расчет трансмиссионных элементов, используемых для передачи момента механической трансмиссии. Программные модули имеют интерфейс связи с программой кинематики и нагрузочных режимов трансмиссии. Создана единая база данных материалов. Расчеты базируются на действующих стандартах и общепризнанных методиках (рис. 17 и 18). Программный комплекс позволяет рассчитывать геометрические параметры, прочностные характеристики требуемого элемента, осуществляет вывод наглядного отображения формы и вида рассчитываемого элемента.

**Рис. 17 – Схема взаимодействия основных модулей программного комплекса расчета силовой цепи трансмиссии**



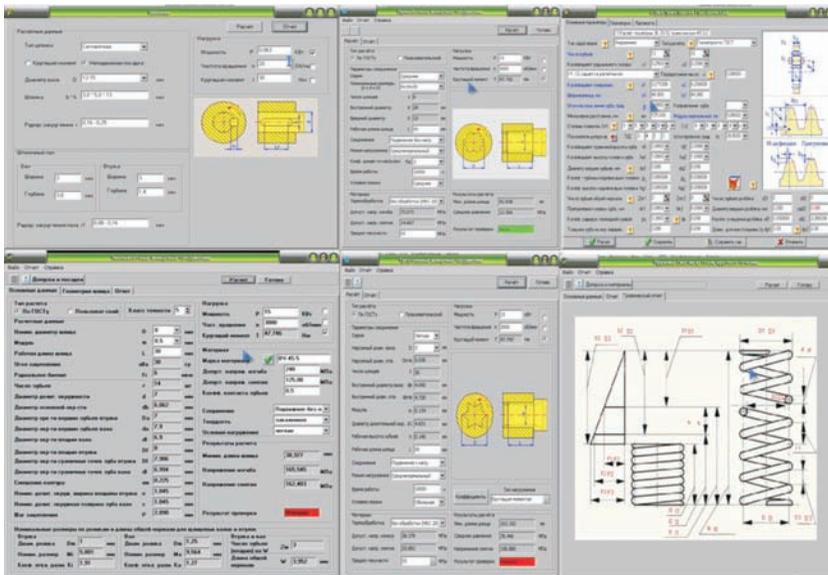


Рис. 18 – Программное обеспечение расчета силовой цепи трансмиссии

По результатам эксплуатации у российского потребителя опытной партии образцов разработанного импортозамещающего комплекса аппаратно-программных средств управления рабочими органами тракторов принято решение об изготовлении РПУП «Измеритель» в 2007 г. партии 1000 шт. для тракторов «Беларус» мощностью 120—250 л.с. (программа «Импортозамещение»).

Заключен договор с РПУП «Завод Измеритель» на разработку и освоение производства системы управления электрогидравлическими распределителями внешних потребителей с возможностью программирования последовательности выполняемых операций.

Проведены натурные испытания экспериментального образца электронной системы автоматического управления валом отбора мощности и двух образцов электронной системы управления трехступенчатым редуктором трансмиссии в составе тракторов; готовится производство этих систем на НПО «Интеграл».

Разрабатываются проекты новых заданий ГНТП «Машиностроение» по созданию электронных систем управления электрооборудованием и осветительным оборудованием, а также центрального электронного пульта управления тракторов.

В рамках хозяйственного договора с РУП «МТЗ» разработаны дизайн и твердотельные трехмерные модели экстерьера и интерьера (с элементами для крепления панелей) одинарной кабины и нижнего пояса универсального шасси Ш-426 в пакете Unigraphics. Детали спроектированы из стеклопластика для повышения стойкости кабины к процессам коррозии. На их основе ОКБ РУП «МТЗ» изготавливает опытный образец шасси с новым дизайном.

Разработана конструкция рулевого колеса для семейства тракторов «Беларус», соответствующая современным эргономическим требованиям. Получен патент на промышленный образец. Начата подготовка производства по серийному выпуску таких рулевых колес для установки их на всю производственную программу.

На энергонасыщенных тракторах «Беларус» мощностью 250...360 л.с. проведены исследования и разработаны рекомендации по изменению конструкции и расположения виброактивных узлов, обеспечивающих снижение уровня на рабочем месте тракториста до 74 дБА, что соответствует уровню шума в кабинах лучших зарубежных аналогов.

### **Для БЕЛКОММУНАШ**

В рамках хозяйственного договора с МГПУП «БЕЛКОММУНАШ» разработаны дизайн и твердотельные трехмерные модели наружных панелей передней и задней стенок, деталей каркаса передней и задней стенок сочлененного трамвая модели 743 и пульта управления сочлененного трамвая. На их основе разрабатывается конструкторская документация для изготовления опытного образца сочлененного трамвая.

### **Для НПО «Экран»**

По заданию АТ-06.12 разработаны принципы построения и математическая модель, совместно с СКБ НПРОУП «Экран» разработано ТЗ на тормозную систему управления с функцией обеспечения устойчивости движения и эскизная конструкторская документация системы. Собственными силами ОИМ НАН Беларуси изготовлен макетный образец системы.

Разработаны принципы и математическая модель информационно-управляющей системы, совместно с СКБ НПРОУП «Экран» разработано ТЗ и ЭКД на бортовую комплексную многоуровневую информационно-управляющую систему. Изготовлен макетный образец системы.

По заданиям АТ-06.13 и АТ-06.14 проведен анализ протоколов обмена электронных блоков, применяемых в автомобилях, и разработаны алгоритмы их реализации для блока бортовой системы контроля и диагностики, для разработки усовершенствованного щитка приборов и усовершенствованного блока коммутационной аппаратуры. Проведены исследование систем регулирования микроклимата в кабине автомобилей и анализ схем, алгоритмов работы применяемых электронных блоков, определена оптимальная структура системы для автомобилей семейства МАЗ. Разработана эксплуатационная и конструкторская документация на технологическую оснастку опытных образцов комплекса электронных приборов.

### **Для РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике ПО «Гомсельмаш»**

В рамках хоздоговора разработаны алгоритмы управления системой автоматического копирования рельефа поля навесной системой комбайна КЗ-14 (аналога системы, установленной на комбайне «Лексион 560»), проведено их исследование на математической модели.

Разработана электрогидравлическая система продольного уравнивания жатки комбайна КЗС-1218.

### **Для РУПП «Белорусский автомобильный завод»**

В рамках задания КТ 01.01 разработана принципиальная схема подсистемы управления гидромеханической трансмиссией с центральным механизмом плавного включения; разработана ее математическая модель, программа расчета и проведено компьютерное моделирование.

Для системы охлаждения двигателей карьерных самосвалов разработан программный продукт для расчёта охладителей рабочих жидкостей, который включает определение температуры воздуха на входе в радиатор при заданной тепловой мощности, которую надо рассеять; определение тепловой мощности, которую можно рассеять, при заданной температуре воздуха на входе в радиатор; определение температуры теплоносителя на выходе из охладителя наддувочного воздуха (ОНВ), при заданной температуре охладителя на входе в ОНВ.

С использованием указанного программного продукта Для карьерных самосвалов типа БелАЗ 7513 разработана и испытана насадка, закрепляемая на задних кромках лопастей серийного вентилятора. В результате её применения скорость воздуха на входе в радиатор на

всех режимах работы двигателя возросла более чем на один метр в секунду (рис. 19, а). Также для карьерных самосвалов типа БелАЗ- 75281 разработан и испытан модернизированный вентилятор системы охлаждения двигателя, который позволил увеличить расход воздуха через радиатор более чем на 23% (рис. 19, б).



**Рис. 19 – Системы охлаждения самосвалов БелАЗ:**  
**а – насадка на лопастях вентилятора; б – модернизированный вентилятор**

На основе результатов комплекса НИР, выполнявшихся ранее в рамках ГПОФИ «Механика», ГППИ «Новые компоненты в машиностроении», ГКПНИ «Механика» совместно с НПО «Интеграл» разработаны проекты концепции и подпрограммы «Создать и подготовить производство комплексов бортовых электронных и мехатронных управляющих, информационно-диагностических и сервисных систем для повышения конкурентоспособности автотракторной, сельскохозяйственной и другой мобильной техники, выпускаемой машиностроительной промышленностью, расширения номенклатуры и увеличения объемов выпуска продукции электронной промышленности Республики Беларусь (шифр «Электроника мобильных машин») для включения в ГНТП «Машиностроение» на 2006—2010 годы. В настоящее время разрабатываются проекты заданий подпрограммы.

## ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

По заданиям подпрограммы прикладных научных исследований «Создание новых компонентов для машиностроения»:

Разработана общая методика синтеза, расчета и оптимизации силовых передач, охватывающая механические, гидромеханические и объемные гидромеханические типы трансмиссионных систем, на базе которой проведен структурно-кинематический синтез и синтезирована структура и схема двухпоточной объемной гидромеханической передачи нового класса для тракторной и сельскохозяйственной техники. Основу составляет многозвенный планетарный механизм и способ переключения передач в режиме нулевой гидравлической мощности. Схема обеспечивает компактность и более высокий КПД по сравнению с традиционными объемными гидромеханическими передачами. Выполнен анализ алгоритмов управления моторно-трансмиссионными установками, в том числе и адаптивных, предложены подходы к синтезу эффективных алгоритмов для последующей реализации на программном уровне (рис. 20 — Механика 1.01).

Разработаны технологические принципы получения и впервые проведены опытные плавки высокопрочного чугуна с шаровидным графитом специального химического состава с заданной микрострук-

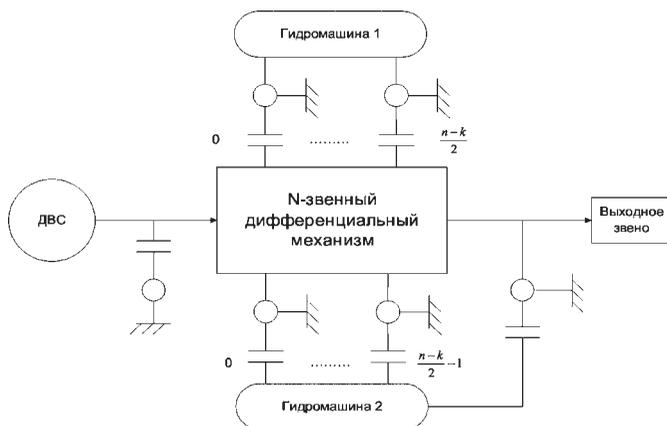


Рис. 20 — Концептуальная схема объемной гидромеханической коробки передач

турой и способностью целенаправленного регулирования сопротивления изгибной и контактной усталости для изготовления заготовок зубчатых колес методом литья взамен обработки давлением с целью снижения трудоемкости и энергозатрат в условиях производства на ПО «Гомсельмаш» (рис. 21 — Механика 1.32).

Проведены эксплуатационные испытания опытного образца перспективной планетарной гидромеханической коробки передач ГМП-420 в составе автомобиля МЗКТ 8021 в объеме 10000 км пробега. По их результатам подготовлены предложения по уточнению алгоритмов управления переключением передач и блокировкой гидротрансформатора при командном и автоматическом режимах работы системы управления, изменению конструкции редукторной части ГМП и исполнительных механизмов системы управления (рис. 22 — Механика 1.02).

**По заданиям подпрограммы ориентированных фундаментальных исследований «Динамика, надежность и управление в мобильных машинах, механических, гидравлических, газовых и биомеханических системах»:**

разработана структура математического аппарата взаимодействия шины с дорогой и выполнено описание интеллектуальной системы управления активной безопасности мобильной машины. Проведен

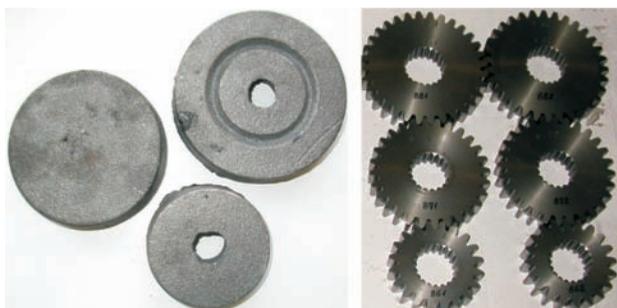


Рис. 21 – Литые заготовки и образцы зубчатых колес из высокопрочного чугуна

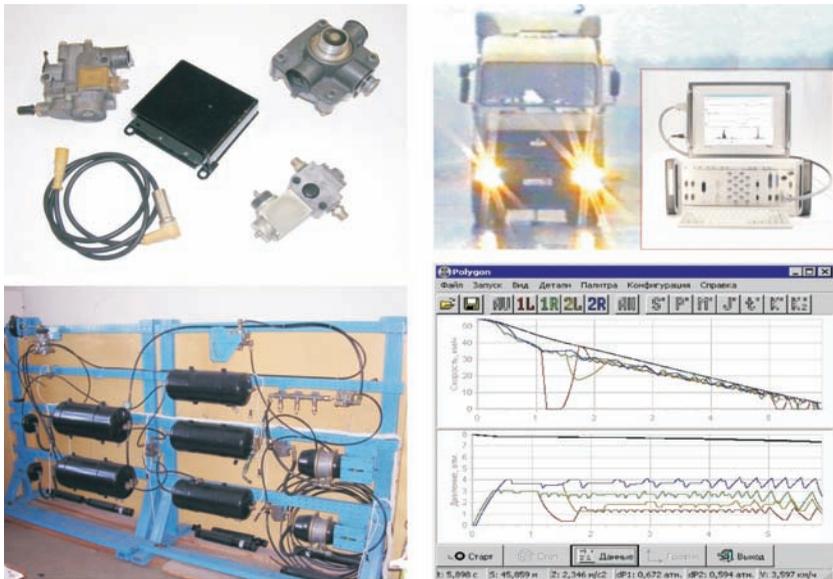


Рис. 22 – Испытания опытного образца ГМП МЗКТ

анализ и обоснование выбора аналитического и прогностического инструментария для описания и расчета интеллектуальных систем активной безопасности мобильных машин (рис. 23 – Механика 2.02);

исследованы и установлены особенности разрушения крупнобаритных зубчатых колес карьерных самосвалов БелАЗ, вызванные конструкцией упрочненных слоев и их структурой, сформированной на всех технологических пределах. Впервые выявлена доминирующая роль структурной неоднородности и циклической микротекучести упрочненных слоев и подслоевых объемов азотированных и цементруемых колес в изменении геометрии и прочности зубчатых колес (рис. 24 – Механика 2.14);

выполнен анализ методов и средств повышения экологических характеристик двигателей внутреннего сгорания и выработаны предложения по конструкции системы очистки двигателя внутреннего сгорания мощностью до 180 л.с. Изготовлен первый вариант каталитического блока для повышения экологических характеристик дизеля мощностью до 180 л.с. (рис. 25 – Механика 1.21).



**Рис. 23 – Исследования и разработки интеллектуальных систем активной безопасности: а – комплект системы ABS/ПБС автопоезда; б – дорожные исследования движения автопоезда; в – полунатурный стенд для исследования ABS/ПБС; г – компьютерное моделирование процесса торможения автопоезда**



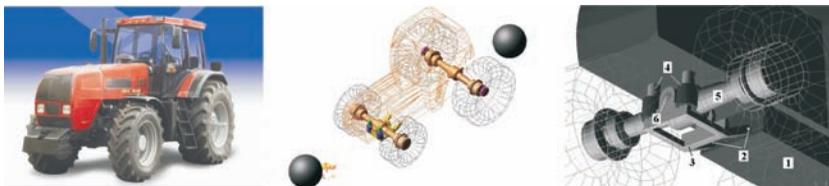
**Рис. 24 – Разработка и внедрение новых технологий производства высоконагруженных деталей самосвалов БелАЗ (ОИМ НАН Беларуси совместно с РУПП «БелАЗ»)**



**Рис. 25 – Разработка подложки каталитического блока из металлической фольги**

**Задания подпрограммы прикладных научных исследований «Создание новых компонентов для машиностроения».**

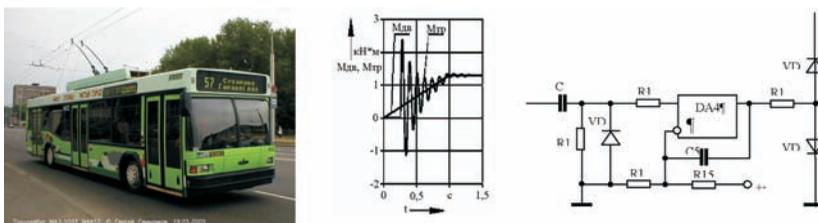
С целью выполнения требований Директивы 2002/44/ЕЕС, установившей допустимые экспозиционные дозы вибрации, и Директивы ЕС 2003/37/ЕС, определившей новую категорию Т5 для тракторов с максимальной скоростью движения свыше 40 км/ч разработана методика исследования и в среде программного обеспечения MSC.ADAMS создана модель трактора МТЗ-2522 с гидропневматической подвеской переднего моста. Алгоритм управления подвеской реализован в подпрограмме на языке Фортран, скомпилированной в виде динамической подключенной к MSC.ADAMS библиотеки. Созданы модели испытательных дорог для анализа вибронгруженности рабочего места водителя в соответствии со стандартом ИСО 5008 (рис. 26 – Механика 1.03).



**Рис. 26 – Подвеска переднего моста трактора:**  
**а – трактор МТЗ-2522; б – модель трактора с навеской;**  
**в – трехмерная расчетная модель передней подвески**

Ввиду низкой долговечности трансмиссий троллейбусов (ресурс гипоидных зубчатых колес в настоящее время редко превышает 100 — 120 тыс. км при пробеге троллейбуса до списания в 600 тыс. км) по причине высоких динамических нагрузок в процессе трогания исследованы переходные динамические процессы в трансмиссии троллейбуса при его разгоне и разработана перспективная система управления тяговым электродвигателем троллейбуса. Внедрение на троллейбусах МАЗ-103Т разработанного задатчика интенсивности разгона, обеспечивающего плавную выборку окружного люфта в трансмиссии, позволит повысить долговечность трансмиссий и уменьшить шум за счет снижения до 40% ее динамической нагруженности (рис. 27 – Механика 1.04).

С целью выполнения требований Директивы ЕС 2003/37/ЕС, определившей новую категорию Т5 для тракторов с максимальной скоростью движения свыше 40 км/ч, разработана методика и универсальная математическая модель тормозной системы на примере движения трактора МТЗ-2522 с максимальной скоростью до 60 км/ч, проведен анализ применения механизма автоматического включения



**Рис. 27 – Система управления тяговым электродвигателем троллейбуса:**  
**а – троллейбус МАЗ-103Т; б – изменение крутящего момента**  
**тягового электродвигателя  $M_{дв}$  и динамического крутящего момента**  
**в трансмиссии  $M_{тр}$ ; в – схема управления**

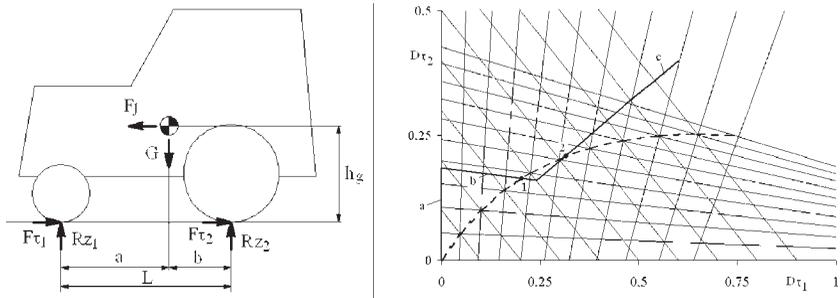
в работу переднего ведущего моста и/или переднего автономного колесного тормоза (рис. 28 — Механика 1.05).

Разработаны структура и макет экспериментальной системы для мониторинга динамики электродермальных параметров водителей непосредственно во время выполнения алгоритмов деятельности по управлению транспортным средством (Механика 1.10).

Проведен анализ диапазона изменения структурно чувствительных магнитных параметров чугуновых отливок с хлопьевидной, шаровидной и пластинчатой формой графитных включений при различном соотношении феррита и перлита в металлической основе. Разработаны схемы технических средств контроля: выделения белого чугуна от чугунов всех других типов; разбраковки перлитного и ферритного чугунов всех типов друг от друга; контроля формы графитовых включений в чугуне при постоянной структуре металлической матрицы.

Проведены исследования процессов плавного управления frictionными муфтами трехступенчатого редуктора трансмиссий тракторов «Беларус» мощностью 90...120 л.с. с перекрытием при переключении передач под нагрузкой без разрыва потока мощности. Полученные алгоритмы используются в микропроцессорной системе управления трехступенчатым редуктором разработки ОИМ НАН Беларуси, которая проходит испытания в составе трактора «Беларус-925М» (Механика 1.28).

По заданиям подпрограммы ориентированных фундаментальных исследований «Динамика, надежность и управление в мобильных машинах, механических, гидравлических, газовых и биомеханических системах» проделан значительный объем работ. В частности:



**Рис. 28 — Моделирование процесса торможения трактора:**  
**а — расчетная схема; б — диаграмма распределения удельных тормозных сил**

разработаны методология и методы расчета и проектирования механических систем машин с заданным комплексом ресурсно-функциональных свойств. Проведены исследования по новому направлению работ, основанному на виртуальной системе исследований и испытаний, комбинированному программному обеспечению и распараллеливанию вычислений в реальном времени. Работы включают реализацию виртуальной компьютерной системы исследования и испытаний машиностроительных объектов и их систем управления с использованием передовых SIL- и HIL-технологий, что обеспечивает сокращение времени разработки и испытаний, повышает качество принимаемых решений (Механика 2.03);

проведен анализ оценочных показателей эффективности привода ведущих мостов, колес многоприводных машин и рулевого управления многоприводных колесных машин; разработан оценочный показатель эффективности ходовых систем многоприводных колесных машин; разработан метод оценки эффективности ходовых систем многоприводных колесных машин (Механика 2.05);

проведен анализ известных принципов управления и динамических систем гидравлической распределительной аппаратуры с сервоуправлением. Определены динамические структуры, конструкционные и принципиальные электрические схемы управляющих каскадов на базе электромеханических и пьезокерамических компонентов. Выполнена компоновка измерительных и управляющих элементов для серийного многосекционного гидрораспределителя трактора «Беларус». Разработаны методические положения исследования скоростных и внешних характеристик распределителей с электрогидравлическим управлением. Проведены натурные испытания известных аналогов. Разработан метод определения рациональных параметров системы регулирования и алгоритм ее функционирования при продольном копировании рельефа поля. Полученные результаты предполагается использовать при разработке перспективных отечественных бортовых систем управления технологическими процессами для зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов (Механика 2.08);

выполнен анализ критериев оценки технического состояния труб и механического состояния их материала в процессе эксплуатации линейной части нефтепровода, процесса нагруженности и разработана модель его схематизации; разработана феноменологическая модель повреждений и на ее основе впервые проведены испытания натуральных отрезков трубы (длиной 9 м) на коррозионно-эрозионную

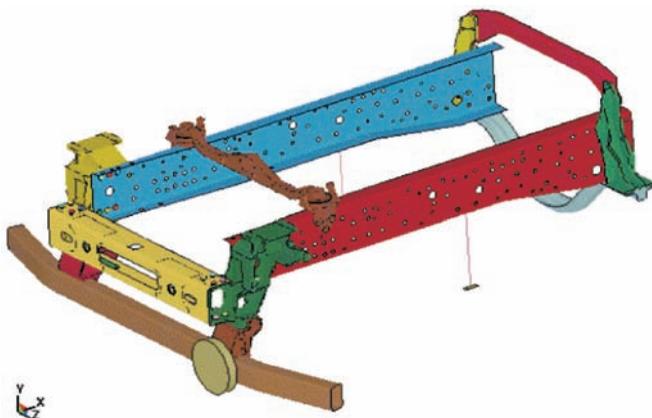
усталость. Результаты работы используются на ГПТН «Дружба» (Механика 2.10);

разработаны методические основы ускоренного экспресс-анализа физико-механических свойств нанокompозитов и покрытий с наномодификаторами для машиностроительных конструкций;

разработаны алгоритмы исследований и ускоренного экспресс-анализа физико-механических свойств нанокompозитов и покрытий с наномодификаторами для машиностроительных конструкций, основанные на применении современных методических и программно-аппаратных средств проведения испытаний с использованием методов планирования эксперимента и автоматизированного управления процессом их проведения и обработки полученных данных; предложены типовые блок-схемы программно-аппаратных средств для контроля и управления параметрами испытаний. Анализ результатов исследований показал возможность сокращения длительности и трудоемкости испытаний на порядок и более. По результатам исследований поданы 2 заявки на изобретения на приводные средства для испытаний и подготовлена одна заявка на изобретение на способ испытаний (Механика 2.17);

разработана структура программного обеспечения для проведения виртуальных испытаний, обоснованы требования к программным и аппаратным средствам, проведен обзор систем виртуального проектирования машиностроительных конструкций, проведен анализ программных средств и методов, используемых ведущими мировыми автопроизводителями на стадии проектирования для оценки эксплуатационных свойств и долговечности различных узлов и конструкций мобильных машин. Создан базовый перечень регламентируемых испытаний авто-тракторной и сельскохозяйственной техники. На базе Правил №93 ЕЭК ООН разработан проект стандарта, регламентирующий проведение виртуальных испытаний переднего противоподкатного защитного устройства грузового транспортного средства (рис. 29 – Механика 2.30);

проведен обзор принципиальных схем гидрообъемного рулевого управления (ГОРУ) колесных тракторов с использованием насосов-дозаторов в качестве обратной связи. Выполнен анализ применимости одно- и двухконтурных схем ГОРУ в зависимости от тягового класса и типа ходовой системы трактора. Рассмотрено влияние условий поворота (спаренные колеса, величина нагрузки, тип грунта, угол наклона остова и т.д.) на функционирование и качество работы системы рулевого управления, исследовано влияние параметров насоса-дозатора на функциональные свойства ГОРУ (Механика 2.43);



**Рис. 29 – Модель переднего противоподкатного защитного устройства грузового автомобиля**

разработана методология и методы расчета надежности, ориентированные на оценку показателей надежности машин, которые представлены в действующих и перспективных стандартах по надежности, и позволяют оценивать надежность на всех стадиях проектирования мобильных машин, их агрегатов и узлов. При этом воспроизводятся многоуровневая структура машины и процессы нагружения и отказов на различных уровнях: деталь, узел, агрегат, машина. Разработанные методы составляют основу для методик, базовых алгоритмов и программных средств комплекса «Надежность», предназначенного для сопровождения и обеспечения процессов проектирования и виртуальных испытаний, в том числе на надежность, машин (виртуальное проектирование машин) (Механика 3.02).

На основе анализа типовых схем мониторинга и диагностики технического состояния тракторов определена наиболее рациональная блок - схема мобильного варианта исполнения системы, позволяющая с использованием унифицированных программно-аппаратных средств обеспечить эффективную оценку и анализ параметров функционирования основных их компонентов (гидропривода, трансмиссии и двигателя).

Разработаны методические подходы к мобильному мониторингу и оценке технического состояния, остаточного ресурса и экологической безопасности гидравлических приводных систем тракторов, основанные на анализе инерционно-жесткостных параметров и переходных процессов при их функционировании.

В целом это позволит создать современную передвижную систему комплексного мониторинга остаточного ресурса и диагностики технического состояния основных приводных систем сельскохозяйственной техники, позволяющей обеспечить оперативную оценку их технического состояния и выбор наиболее рационального способа восстановления ресурса, а также сбор информации и формирование базы данных об особенностях расходования ресурса основными узлами приводных систем (Механика 3.09).

Обоснованы и выбраны методы формирования покрытий для повышения надежности машин и элементов конструкций. Разработаны технологические схемы формирования покрытий повышенной надежности. Изготовлены экспериментальные образцы деталей для нанесения покрытий. Разработаны и изготовлены технические средства для нанесения покрытий. Разработана методика проведения испытаний по оценке надежности деталей с покрытием.

Модернизировано стендовое оборудование и изготовлена технологическая оснастка для проведения испытаний экспериментальных образцов деталей с покрытием на надежность. Разработана методология расчета показателей прочностной надежности системы «покрытие – основа». Разработаны методики расчета величины необходимой прочности сцепления покрытий с деталями типа «валы», «коленчатые валы», «подшипники скольжения, сферические опоры и подпятники», «трубы». Впервые в мировой практике упрочнения - восстановления деталей и элементов конструкций на стадии проектирования технологических процессов нанесения покрытий осуществлен научно обоснованный выбор необходимого метода газотермического напыления (рис. 30 – Механика 3.16).



**Рис. 30 – Процесс нанесения покрытия на изношенную поверхность поворотного кулака троллейбуса ЗиУ-682 В1**

Выполнен анализ действующих в автотракторной промышленности процессов изготовления и технических требований к качеству высоконапряженных зубчатых колес. Установлено, что в нормативных показателях качества различных отраслей машиностроения имеются существенные различия, которые обуславливают заметные расхождения при назначении оптимальной толщины слоя, структуры слоя и сердцевины высоконагруженных зубчатых колес и, следовательно, уровня качества химико-термической обработки.

По результатам исследований установлено, что при оптимальном качестве химико-термического упрочнения цементованных сталей могут быть достигнуты пределы усталости при контактном нагружении до 1700—2000 МПа, а при изгибном 1100 МПа, что обеспечивает высокую несущую способность зубчатых колес. При этом определяющая роль принадлежит качеству структуры упрочненных слоев, что в значительной степени определяется технологией производства деталей и особенно химико-термической обработкой.

Разработан комплекс технических нормативных правовых актов по обеспечению качества зубчатых передач, основанный на действующих стандартах и технических условиях качества (Механика 3.23).

Кроме того, ОИМ НАН Беларуси участвует в выполнении 24 основных заданий по другим государственным комплексным программам научных исследований, программам ориентированных фундаментальных исследований и прикладных научных исследований.

## **Результаты работ по сертификации и испытаниям автомоботехники**

Центр сертификации и испытаний мобильных машин (ЦСИММ) в составе Органа по сертификации транспортных средств, предметов оборудования и частей и систем качества предприятий (БелОСТ) и Центра сертификационных испытаний мобильных машин осуществлял работы по сертификации продукции ведущих отечественных производителей (РУП «МАЗ», «АМАЗ», РУПП «БелАЗ», ОАО «ТАИМ», РУП «БААЗ», РУП «Диапроектор») автомобилотехники на соответствие Правилам ЕЭК ООН, мировым и национальным стандартам в области автостроения и зарубежных фирм-производителей, в отношении поставляемых в Республику Беларусь автотранспортных средств и запасных частей к ним (Volkswagen, Renault, Peugeot, Ford, Opel, Nissan, Subaru, KIA, Dacia, Citroen, Skoda, Mazda, Audi, Fiat, Volvo, Iveco, Suzuki, Honda, Mitsubishi), а также предприятий Российской Федера-

ции (ОАО «ГАЗ», ОАО «Саранский завод автосамосвалов», ООО «Завод специализированных автомобилей «Бизон», ОАО «Вологодский машиностроительный завод», ООО «Центртранстехмаш», ООО «Павловский автобусный завод») (рис. 31).

По итогам работ выданы заявителям следующие документы:

«Одобрения типа транспортного средства» — 631 шт., из них: 11 — для заявителей из дальнего зарубежья, 25 — для отечественных производителей;

«Сообщения, касающиеся официального утверждения типа» — 85 шт., из них: 70 — МАЗ (грузовые автомобили и прицепы), 13 — АМАЗ (автобусное производство), 1 — МЗКТ, 1 — МТЗ;

«Сертификаты соответствия» — 562 шт., из них 12 — на продукцию стран СНГ, 13 — дальнего зарубежья, 46 — отечественного производителя;

сертифицированы системы менеджмента качества 10 организаций на соответствие требованиям СТБ ИСО 9001, в том числе: СП ЗАО «Миллениум Групп» (повторная сертификация), НП ООО «Таспо», ООО «Автопромсервис», ЧУТЭП «Карат», РУП «Могилевское отделение Белорусской железной дороги» станция Бобруйск;

выполнены работы по инспекционному контролю за сертифицированными системами менеджмента качества в 23 организациях;

оказана методическая помощь по созданию систем менеджмента качества 8 организациям, в том числе: ОАО «Автоспецтранс», РУП «Минское отделение Белорусской железной дороги»;

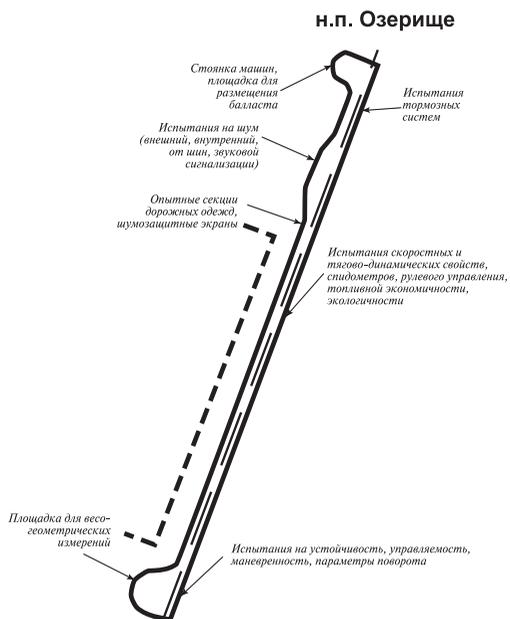


**Рис. 31 – Образцы автомобильной техники, прошедшие испытания и сертификацию в ЦСИММ**

организованы и проведены курсы обучения в семи организациях (более 100 человек получили соответствующие удостоверения) по созданию, внедрению и внутреннему аудиту систем менеджмента качества в соответствии с требованиями СТБ ИСО серии 9000.

### **Республиканский полигон для испытаний и сертификации мобильных машин и комплексной оценки их воздействия на дорожную инфраструктуру**

Отдельным направлением Объединенного института машиностроения НАН Беларуси являются работы, связанные со строительством первой очереди Республиканского полигона для испытаний и сертификации мобильных машин и комплексной оценки их воздействия на дорожную инфраструктуру (рис. 32). Введение в строй Республиканского полигона позволит осуществлять принципиально новые для республики работы в области исследовательских натурных и сертификационных испытаний автотракторной и сельскохозяйственной техники как для предприятий отечественного машиностроения, так и зарубежных производителей.



**Рис. 32 – Первая очередь полигона: схема динамометрической дороги и измерительных площадок (длина 3,3 км; ширина 10–100 м)**

## Международный научно-технический журнал «Механика машин, механизмов и материалов»

В III квартале 2007 года, к открытию III конгресса по теоретической и прикладной механике «Механика-2007» (16—18 октября 2007 г.), вышел в свет первый номер нового международного научно-технического журнала «Механика машин, механизмов и материалов». Учредитель журнала — Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси. Главный редактор журнала — академик НАН Беларуси, д.т.н., профессор М.С. Высоцкий. Планируемая периодичность выпуска журнала — 1 раз в квартал.

Тематические рубрики журнала: общие проблемы механики, теоретическая механика, теория механизмов и машин; механика деформируемого твердого тела; механика жидкостей и газов; механика мобильных машин; компьютерная механика; специальные разделы механики (механика композитов, строительная механика, биомеханика, геомеханика, технологическая механика, наномеханика, акустика, трибология, роботомеханика и др.); преподавание теоретической и технической механики.



Рис. 33 — Эскиз обложки международного научно-технического журнала «Механика машин, механизмов и материалов»