

Проектирование и изготовление высокопроходимых мобильных роботов специального назначения с использованием современных САПР

Олег Маслов, Андрей Пузанов, Константин Куванов, Олег Платов (ОАО "СКБ ПА", г.Ковров)

*Разум несомненно кажется слабым, когда мы думаем о стоящих перед ним задачах.
А. Эйнштейн*

Среди многих видов деятельности по обеспечению безопасности и защиты общества, особо важное место занимают вопросы, связанные с предотвращением терактов с применением взрывных устройств (ВУ), направленных на уничтожение гражданского населения, а также на разрушение объектов человеческой деятельности. Специалисты во всем мире ищут эффективные пути борьбы и противодействия террору, одним из которых является разработка мобильных роботов (МР), предназначенных для выявления и уничтожения ВУ.

Следует отметить, что задачи по проектированию и созданию таких роботов довольно успешно решаются зарубежными разработчиками, о чем свидетельствует широкий спектр предлагаемой ими специальной техники. Опережающее развитие роботизированных средств за рубежом обусловлено, в первую очередь, большим опытом ведения антитеррористической борьбы. Для современной России подобный опыт сравнительно невелик. Однако, события последних лет заставили отечественных специалистов сосредоточить свои усилия в области проектирования и изготовления мобильных роботов специального назначения. За короткий период на свет появился ряд отечественных образцов роботизированной техники, различающихся по классу, назначению и составу исполнительного оборудования. "Вездеход-ТМЗ" – один из таких образцов, относящийся к роботам сверхлегкого класса, основным назначением которых является визуальная и акустическая разведка местности, помещений, транспортных средств, осмотр труднодоступных мест, обнаружение и уничтожение взрывных устройств.

Мобильный робот способен передвигаться по слабопересеченной местности, преодолевать пороговые препятствия, водные преграды, двигаться по снегу и траве. Для повышения маневренности при работе робота в стесненном пространстве (внутри зданий и сооружений) используется бортовой способ разворота. Рабочее оборудование робота включает в себя манипулятор, обладающий двумя степенями свободы, двухстепенные механизмы наведения ви-

деокамер и гидродинамический разрушитель. Выдвижение телескопической штанги позволяет обследовать труднодоступные места (днище автомобиля, урны и т.п.), исследовать и уничтожать подозрительные объекты.

Заказчиком МР выступал ЦСТ ФСБ России. Работа была поручена специалистам из НИИ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана (г.Москва), отвечавшим за создание системы управления, а также специалистам ОАО "Специальное конструкторское бюро приборостроения и автоматики" (ОАО "СКБ ПА", г.Ковров), отвечавшим за разработку конструкции МР и подготовку КД для последующего серийного изготовления изделия на ОАО "Ковровский электромеханический завод" (ОАО "КЭМЗ", г.Ковров).

Перед коллективом ОАО "СКБ ПА" стояла задача в минимально сжатые сроки разработать конструкцию МР, отвечающую требованиям технического задания (ТЗ), разработать и выпустить конструкторскую документацию (КД) для серийного изготовления изделия. Очевидно, что разработка и изготовление изделия на высоком качественном уровне были бы невозможны без использования современных программных продуктов.

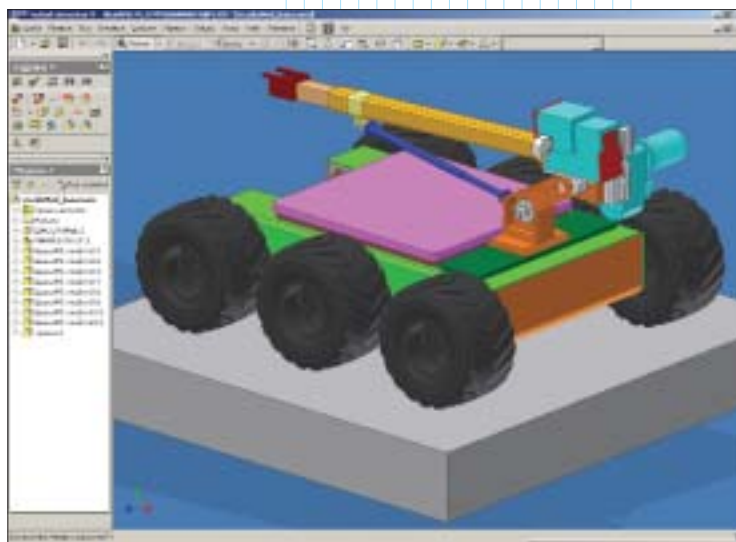


Рис. 1. Трехмерная модель мобильного робота, разработанная в среде AIS9



Рис. 2. Транспортное средство МР с изменяемой геометрией колесного движителя

Одним из важных этапов в формировании будущего облика МР явилась разработка его предварительной трехмерной модели в среде *Autodesk Inventor Series (AIS)* версии 5.3 и 9, как наиболее эффективной с точки зрения простоты проектирования сложных элементов робота, а также по возможностям экспорта 2D-чертежей в среду *AutoCAD*. С помощью *AIS* были выполнены работы по определению основных конструктивных особенностей узлов и механизмов будущего робота, проработаны вопросы, связанные с компоновкой и размещением исполнительных приводов, элементов бортовой системы дистанционного управления, основного и вспомогательного оборудования робота (рис. 1).

В процессе проектирования манипулятора и механизмов наведения МР были использованы различные возможности *AIS9*, такие как адаптивное проектирование, позиционные представления сборки и гибкие узлы. Это позволило отработать наиболее важные положения исполнительного оборудования, получив полную картину пересечений узлов и деталей во время работы, и избежать их возможных столкновений, а также оценить габаритные размеры МР при работе исполнительного оборудования. Параллельно с разработкой основного варианта МР шел поиск альтернативных решений конструкции ходовой части робота, манипулятора и вспомогательного оборудования (рис. 2, 3).

В соответствии с требованиями, предъявляемыми заказчиком к транспортному модулю МР, это должно быть средство доставки исполнительного оборудования к месту проведения операции, обладающее малыми массогабаритными характеристиками, низкой энергоемкостью исполнительных приводов колесного движителя, высокой проходимостью и маневренностью, способное выдерживать ударные нагрузки. Выполнение этих требований потребовало от разработчиков целого комплекса расчетно-проектировочных работ. В основу легла собственная методика

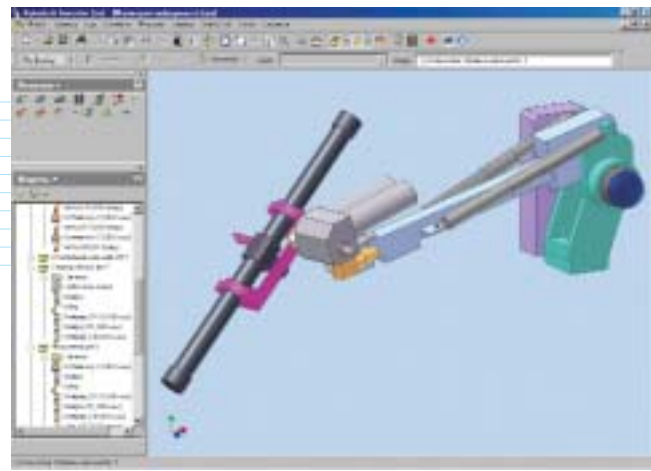


Рис. 3. Альтернативный вариант манипулятора МР

проектирования высокопроходимых колесных транспортных средств в сочетании с программной средой *MSC.visualNastran 4D 2004*. Разработанная методика позволила:

- дополнить и уточнить существующие методы проектирования наземных транспортных средств (ТС) с учетом особенностей, присутствующих у МР сверхлегкого и легкого классов;
- определить геометрические параметры транспортного средства, исходя из возможного рельефа опорной поверхности;
- провести тягово-динамические расчеты транспортного средства с учетом вида и характеристик тяговых приводов, условий нагружения колес многоосной машины, условий среды в которой функционирует МР, определить энергозатраты транспортного средства на движение и маневрирование;
- исследовать динамическую устойчивость будущего МР в процессе его взаимодействия с опорной поверхностью, оценить влияние параметров транспортного средства на его устойчивость;
- обосновать выбор вида несущей конструкции ТМ, исходя из объема размещаемых элементов СДУ, местоположения навесного оборудования, вида и типа приводов колесного движителя.

Неотъемлемой частью методики являются математические модели, разработанные с использованием средств компьютерного моделирования (например, с использованием программ имитационного моделирования *Matlab, Simulink*), которые дали возможность не только быстро и эффективно провести расчетно-проектировочные работы по определению основных параметров транспортного средства МР, но и провести ряд научных исследований. При этом, требуемые исследования велись с учетом нелинейностей сил, действующих на колесах ТС, что позволило избежать искажения получаемых результатов вследствие упрощения моделей с

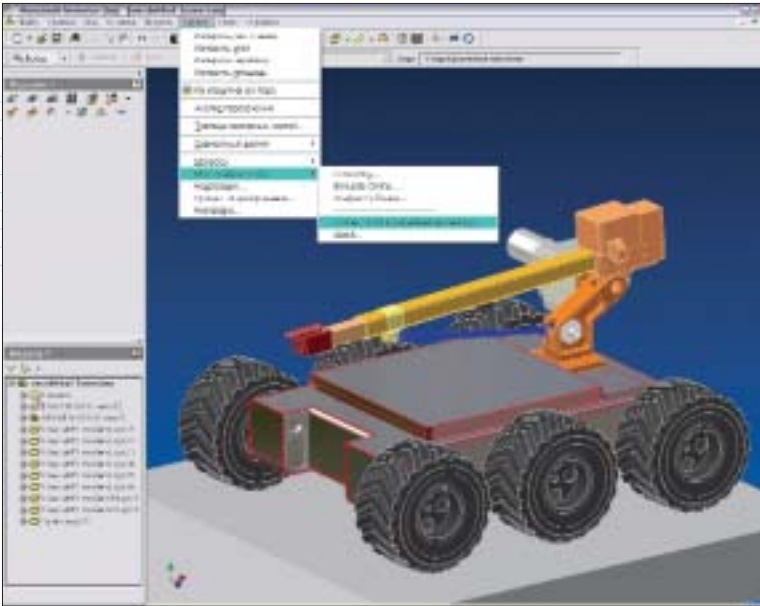


Рис. 6. Экспорт 3D-модели мобильного робота в среду MSC.visualNastran.4D 2004

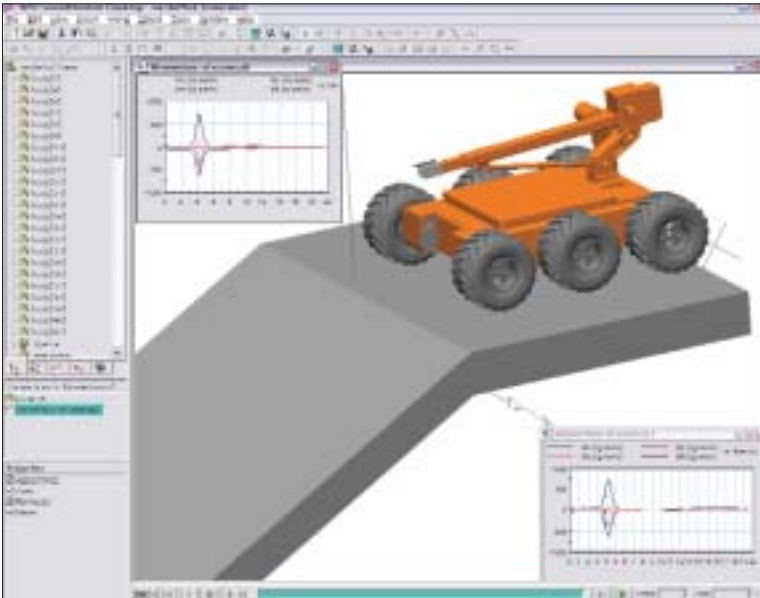


Рис. 7. Моделирование движения мобильного робота под уклон

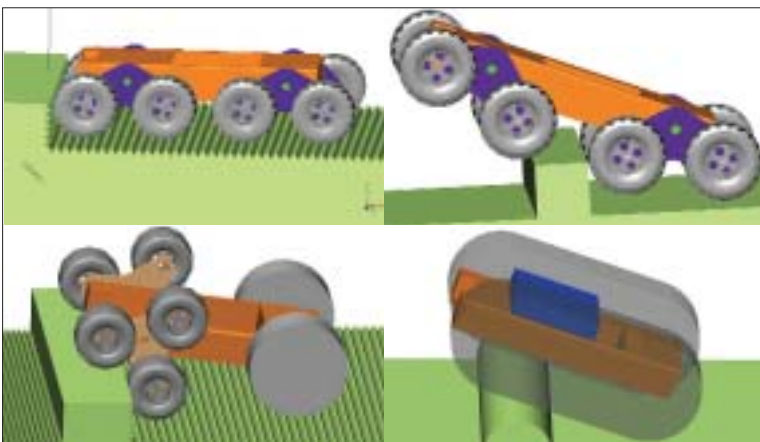


Рис. 8. Моделирование преодоления типowego препятствия для ТС с различными видами движителей

целью получения их аналитического решения.

Для проведения проектировочных работ по выбору окончательного вида двигателя транспортного средства и моделирования работы исполнительного оборудования, предварительная трехмерная модель МР была передана в среду MSC.visualNastran 4D 2004 (рис. 6).

Одной из самых сложных задач, стоявших перед разработчиками, оказался выбор оптимальной ходовой части, удовлетворяющей требованиям по преодолению типовых препятствий. Для получения оптимального вида движителя потребовалась разработка трехмерных моделей в среде AIS9, которые впоследствии были экспортированы в MSC.visualNastran 4D 2004 с целью проведения их сравнительного моделирования, включающего:

- моделирование классической схемы колесного движителя (рис. 7);
- моделирование колесно-шагающего движителя;
- моделирование малогабаритного гусеничного движителя;
- моделирование колесного движителя с независимой качающейся подвеской и спаренными колесами;
- моделирование колесного движителя с принудительно качающейся подвеской и спаренными колесами (рис. 8);
- моделирование прочностных характеристик различных вариантов движителей при взаимодействии с опорной поверхностью (рис. 9).

Результаты моделирования показали, что **колесный движитель является наиболее приемлемым вариантом для транспортного средства МР сверхлегкого класса**, благодаря своим малым массогабаритным характеристикам в сочетании с достаточной проходимостью и простотой конструктивной схемы. При этом, применение изменяемой геометрии в конструкции колесного движителя не всегда позволяет повысить проходимость МР и способно привести к существенному усложнению, как транспортного средства, так и системы управления МР в целом. Поэтому в качестве основного варианта был выбран полноприводный колесный движитель с размещением исполнительных приводов внутри корпуса транспортного средства.

Наиболее сложной и интересной частью проверки работы исполнительного оборудования оказалось моделирование выстрела гидродинамического разрушителя при имитации уничтожения ВУ.

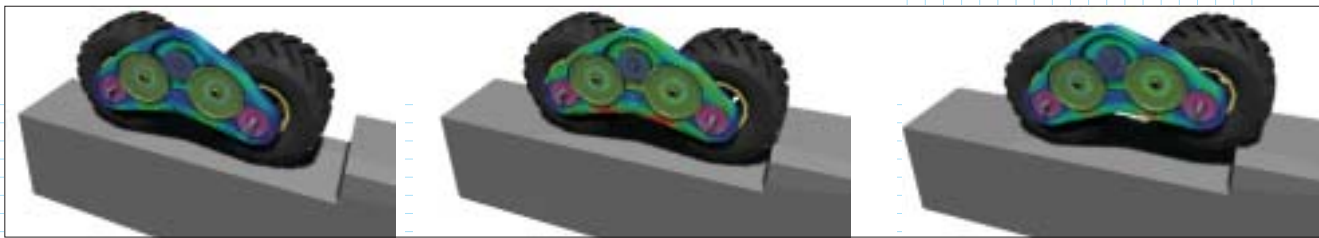


Рис. 9. Моделирование динамических прочностных характеристик корпуса редуктора колесного движителя с качающейся подвеской при различных условиях преодоления преграды

Имитация выстрела в среде *MSC.visualNastran 4D 2004* двумя типами разрушителей безоткатного и откатного действия позволила оценить влияние ударных нагрузок на МР (рис. 10).

На основании результатов проведенных расчетно-проектировочных работ были выявлены и устранены недостатки предварительной конструкции МР, подтверждены ожидаемые функциональные возможности МР, проверены тяговые характеристики разработанных исполнительных приводов колесного движителя, манипулятора и механизмов наведения, увеличена реактивная жесткость конструкции. Окончательно утвержденный вариант конструкции МР позволил перейти к объемному этапу подготовки и выпуска КД с последующей подготовкой производства к серийному изготовлению изделия, о чем мы расскажем в следующей статье. ☒

(Продолжение следует)



Рис. 10. Моделирование поведения МР при выстреле разрушителя ВУ