

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

В последние годы серьезной угрозой для современного общества стали участвовавшие случаи террористических актов с применением взрывных устройств (ВУ), направленных на уничтожение гражданского населения, а также разрушение объектов человеческой деятельности. Неудивительно, что специалисты во всем мире активно ищут эффективные пути предупреждения таких актов, одним из которых является разработка мобильных роботов (МР), предназначенных для выявления и уничтожения ВУ.

Уже не первый год задачи по проектированию и созданию таких роботов довольно успешно решаются зарубежными разработчиками, предлагающими широкий ассортимент подобной техники. В России опыт в данной области 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.

МР "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 робота в стесненном пространстве (внутри зданий и сооружений) используется бортовой способ разворота. Рабочее оборудование робота включает в себя манипулятор, обладающий двумя степенями свободы, двухступенные механизмы наведения видеокамер и гидродинамический разрушитель. Выдвижение телескопической штанги позволяет обследовать труднодоступные места (дно 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 (Москва), чьей задачей было создание системы управления, и специалистам ОАО "Специальное конструкторское бюро приборостроения и автоматики" (ОАО "СКБ ПА", Ковров), отвечавшим за

разработку конструкции МР и подготовку конструкторской документации (КД) для последующего серийного изготовления изделия на ОАО "Ковровский электрохимический завод" (ОАО "КЭМЗ", Ковров).

Одним из важных этапов в формировании будущего облика мобильного робота явилась разработка его предварительной трехмерной модели в среде AutoDesk Inventor Series (AIS), как функциональной САПР для проектирования сложных элементов с возможностью экспорта/импорта 2D-чертежей в среду AutoCAD. Благодаря 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 (СДУ), основного и вспомогательного оборудования робота (рис. 1).

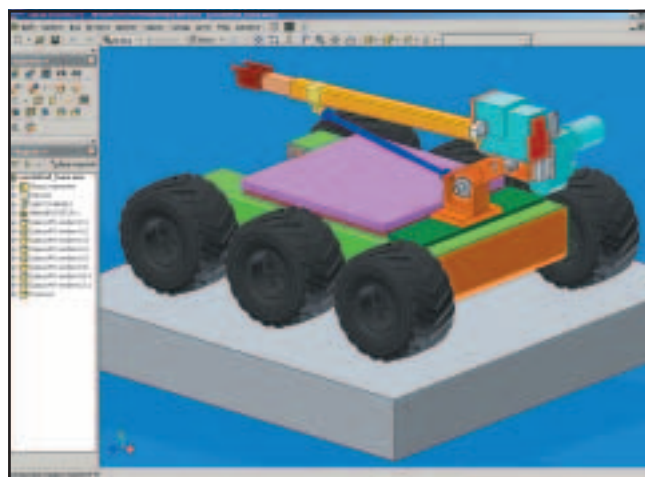


Рис. 1. Трехмерная модель мобильного робота, разработанная в среде AIS

В процессе проектирования манипулятора и механизмов наведения МР были использованы такие возможности AIS, как адаптивное проектирование, позиционные представления сборки и гибкие узлы, позволившие отработать наиболее важные состояния исполнительного оборудования, получить полную картину пересечений узлов и деталей во время работы, а также оценить габаритные размеры МР при работе исполнительного оборудования. Параллельно с разработкой основного варианта МР велись работы по поиску альтернативных решений конструкции ходовой части робота, манипулятора и вспомогательного оборудования (рис. 2, 3).



Рис. 2. Транспортное средство мобильного робота с изменяемой геометрией колесного движителя

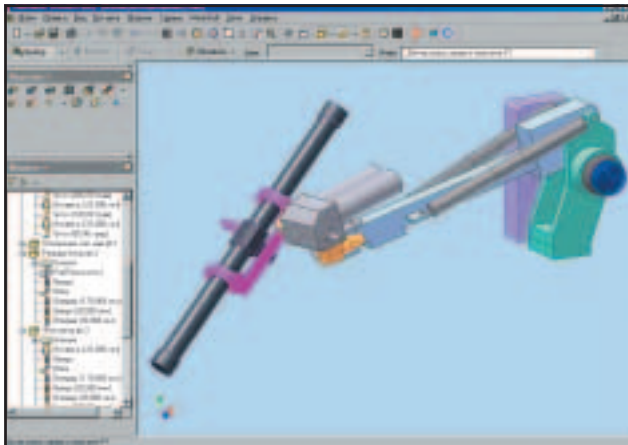


Рис. 3. Альтернативный вариант манипулятора МР

Требования, предъявленные заказчиком к транспортному модулю (ТМ) мобильного робота как средству доставки исполнительного оборудования к месту проведения операции (малые массогабаритные характеристики, низкая энергоемкость исполнительных приводов колесного движителя, их способность выдерживать ударные нагрузки, высокая проходимость и маневренность), потребовали от разработчиков целого комплекса расчетно-проектировочных работ, в основу которых легла собственная методика проектирования высокопроходимых колесных транспортных средств в сочетании с программной средой MSC.visualNastran.4D. Разработанная методика позволила:

- ▶ дополнить и уточнить существующие методы проектирования наземных транспортных средств с учетом особенностей, присущих МР;
- ▶ 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, программ имитационного моделирования Matlab, Simulink), давшие возможность не только быстро и эффективно провести расчетно-проектировочные работы по определению основных параметров ТМ, но и провести ряд научных исследований. При этом требуемые исследования велись с учетом нелинейностей сил, действующих на колеса транспортного средства, что позволило избежать искажения получаемых результатов вследствие упрощения моделей с целью получения их аналитического решения.

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

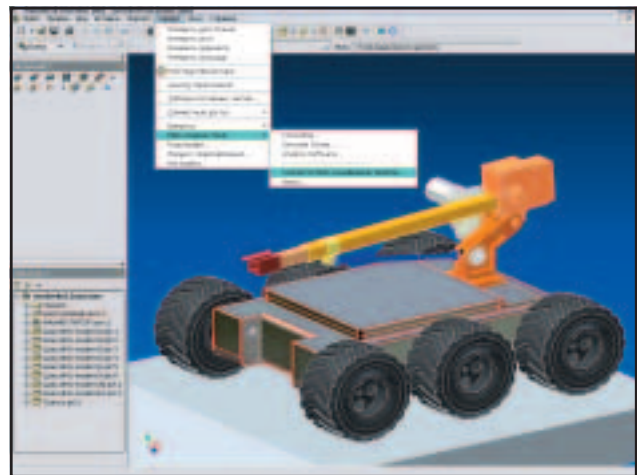


Рис. 4. Экспорт трехмерной модели мобильного робота в среду MSC.visualNastran.4D

Выбор оптимальной ходовой части, исходя из требований по преодолению типовых препятствий, наиболее часто встречающихся на пути движения МР, оказался одной из самых сложных задач, стоявших перед разработчиками. Процесс сравнительного моделирования включал в себя:

- ▶ моделирование классической схемы колесного движителя (рис. 5);

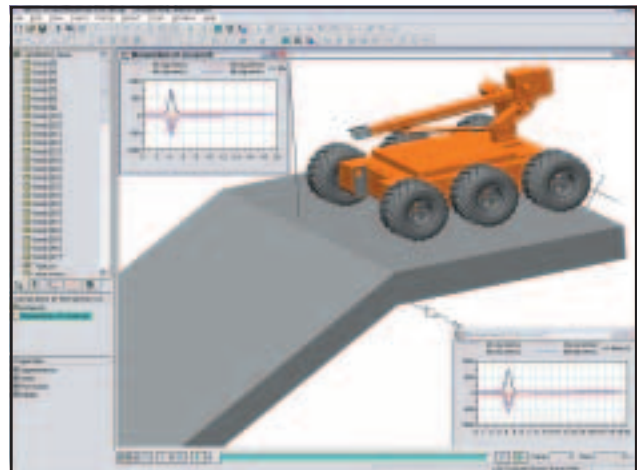


Рис. 5. Моделирование движения мобильного робота под уклон

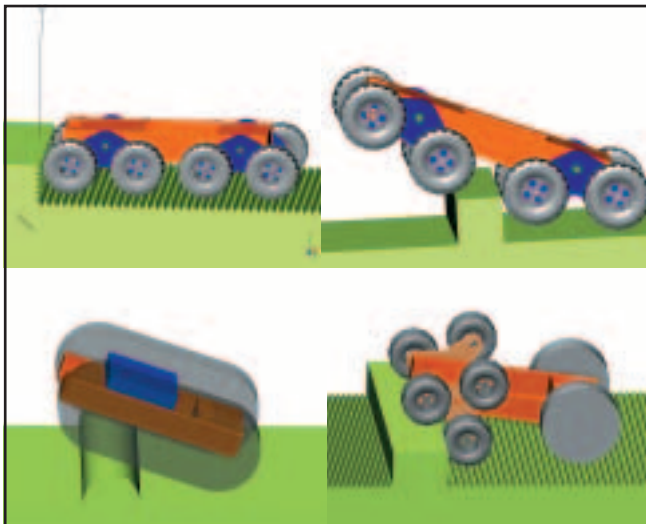


Рис. 6. Моделирование преодоления типового препятствия транспортным средством с различными видами движителей

- ▶ 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. 6);
- ▶ моделирование прочностных характеристик различных вариантов движителей при взаимодействии с опорной поверхностью.

Результаты моделирования показали, что колесный движитель является наиболее приемлемым вариантом для 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 его проходимость 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. Проведенная имитация выстрела (в среде MSC.visualNastran.4D) двумя типами разрушителей (безоткатного и откатного) действия позволила оценить влияние ударных нагрузок на МР (рис. 7).

На основании результатов проведенных расчетно-проектировочных работ были выявлены и устранены недостатки предварительной конструкции МР, подтверждены его ожидаемые функциональные возможности, проверены тяговые характеристики разработанных исполнительных приводов колесного движителя, манипулятора и механизмов наведения, увеличена реактивная жесткость конструкции. Окончательно утвержденный вариант конструкции МР позволил перейти к этапу под-



Рис. 7. Моделирование поведения МР при выстреле разрушителя ВУ

готовки и выпуска КД с последующей подготовкой производства к серийному изготовлению изделия.

Для изготовления деталей МР была осуществлена передача их трехмерных моделей в среду EdgeCam с целью получения управляющих программ для станков с ЧПУ. На этапе создания управляющих программ был выявлен ряд конструктивных особенностей деталей, подвергающихся механической обработке на станках с ЧПУ, которые было невозможно изготовить на имеющемся оборудовании или с помощью имеющегося режущего инструмента. Были применены конструкции деталей, подразумевающие использование электроэрозионных станков, хотя таких станков предприятие не имеет, или требующие применения специального режущего инструмента, изготовление которого длительно и дорого (рис. 8).

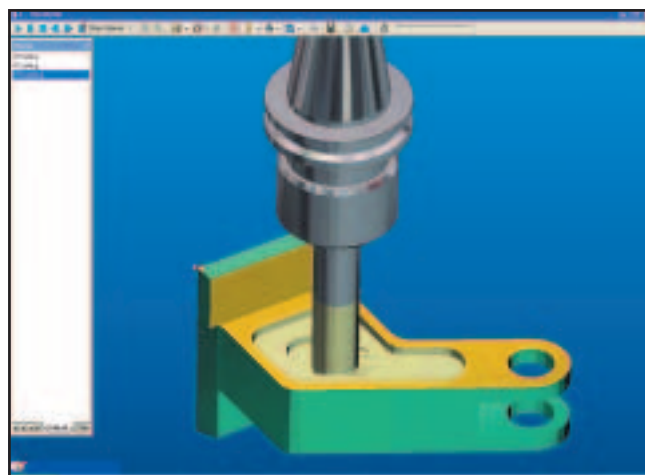


Рис. 8. Визуализация фрезерной черновой обработки опоры манипулятора в среде EdgeCam⁹

Трансляция геометрии деталей в EdgeCam производилась из AIS с сохранением ассоциативных связей, что позволило при изменении 3D-модели быстро производить регенерацию управляющей программы для станков с ЧПУ благодаря возможности EdgeCam автоматически переопределять траекторию движения фрезы.

Параллельно с созданием управляющих программ велись работы по оформлению и подготовке двумерной КД на МР с использованием комплекса программных

средств компании "Интермех" (Минск), предназначенного для автоматизированного конструкторского и технологического проектирования. Это позволило конструкторским и технологическим подразделениям работать в едином информационном пространстве и значительно ускорить процесс технической подготовки производства. Подготовка и оформление чертежей МР велись в среде CadMech2000, имеющей совместимость с наиболее распространенными САД-системами и содержащей широкую справочно-информационную базу и базу стандартных элементов деталей и сборочных единиц (рис. 9).

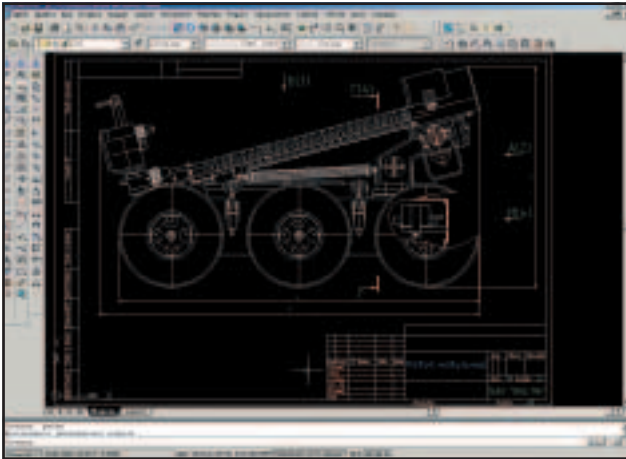


Рис. 9. Чертеж мобильного робота в среде CadMech2000 на базе программы AutoCAD (вид сбоку)

Требуемые виды, разрезы и сечения подготавливались в среде AIS, сохранялись в формате DWG и затем оформлялись в соответствии с ЕСКД в CadMech2000.

Подготовленная КД сдавалась в электронный архив Search, служащий хранилищем любых типов электронных документов и являющийся главным связующим звеном между конструкторскими, технологическими и управленческими службами предприятия (рис. 10).

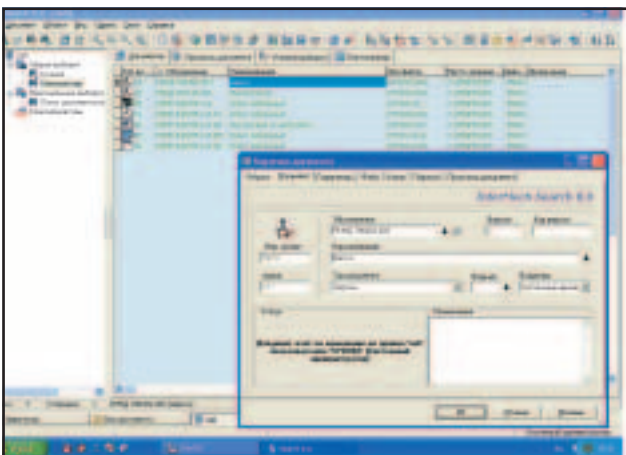


Рис. 10. Электронные копии КД на мобильный робот в архиве Search8

На заключительной стадии работ был изготовлен опытный образец МР и проведены его испытания с целью проверки и подтверждения работоспособности как всего образца в целом, так и входящих в его состав узлов и механизмов (рис. 11, 12). В процессе испытаний было также подтверждено соответствие разработанных методик проектирования транспорт-



Рис. 11. Уничтожение предмета, имитирующего ВУ



Рис. 12. Мобильный робот "Вездеход-ТМ3"

ного средства МР специального назначения реально полученным результатам.

Очевидно, что разработка и изготовление изделия на высоком качественном уровне были бы невозможны без использования современных программных продуктов, внедренных на ОАО "СКБ ПА".

Все лицензионное программное обеспечение было приобретено в "Русской Промышленной Компании" (Москва), специалисты которой оказывали техническую и консультативную поддержку на протяжении всего времени внедрения и использования ПО в ходе реализации проекта.

Использование ПО компаний Autodesk, "Интермех", PathTrace, MSC.Software позволило не только существенно сократить время разработки мобильного робота, исключить лишние материальные затраты на изготовление макета, разработку и внедрение в производство КД, но также реализовать системный подход в области проектирования мобильной робототехники специального назначения, провести весь спектр необходимых технических расчетов, выполнить научные исследования.

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