

УДК 004.896 + 007.52 + 629.7:004.896

## РОБОТИЗАЦИЯ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Д.И. Читалов, Д.Н. Тимофеев*

Представлен обзор актуальных тенденций развития международной и отечественной отраслей робототехники. Описаны достижения науки в области создания автоматизированных комплексов для решения задач в авиастроении, ВПК и производстве космических аппаратов. Приведено обоснование целесообразности использования роботизированных технологических комплексов (РТК) для выполнения производственных операций. Указаны основные препятствия для замены человеческого труда роботизированными системами. Описано ПО, предназначенное для 3D-моделирования РТК, его анимации с учетом реальной динамики, основанной на новых видах уравнений динамики систем тел.

Ключевые слова: РТК, робот, аэрокосмическая промышленность, роботизированный аппарат.

**Введение.** Под РТК понимается система, в которую входит совокупность единиц технологических устройств, промышленных роботов и оснастка. РТК способен функционировать в автономном режиме и выполнять многократные циклы. На предприятиях различных отраслей промышленности успешно применяются роботы, выполняющие перемещение объектов, покраску, сварку, упаковку, сборку и другие операции с высокими требованиями к точности их выполнения. Роботизированные аппараты (РА) предназначены для совершения сложных и опасных военных и исследовательских операций, а также решения задач по разведке, наблюдению и обслуживанию в различных отраслях промышленности.

Развитие РТК показало, что данный вид оборудования может применяться практически в любой сфере народного хозяйства и заменять человека там, где происходит выполнение монотонных операций и складываются опасные для здоровья человека условия. К преимуществам РТК относятся возможность обеспечения высокой производительности при выполнении операций и отсутствие влияния человеческого фактора на ход производственного процесса.

Одной из основных областей, в которой РТК нашли свое широкое применение, является автомобилестроительная промышленность. Разработаны и продолжают проектироваться качественно новые модели РТК, которые можно запрограммировать на решение задач в сфере самолетостроения и ракетно-космической отрасли.

**Роботизация в отрасли самолетостроения.** Авиастроение характеризуется сложностью, масштабностью и трудоемкостью производственного цикла, поэтому крупнейшие производители самолетов и поставщики ком-

плектующих заинтересованы в разработке РТК. Для достижения большей эффективности европейские производители и разработчики совместно работают над проектами по автоматизации производства. Например, концерн Airbus Military сотрудничает с немецким техническим институтом Fraunhofer Institute, а также с разработчиком промышленных роботов KUKA (рис. 1) и инжиниринговым агентством IDPSA.

Прорывом в использовании РТК в сфере авиастроения стала реализация проекта по использованию роботов для сверления отверстий. Благодаря точному позиционированию, а также системам машинного зрения и контроля удалось уйти от ручного труда специалистов и передать выполнение операции машине. Это позволило снизить затраты, связанные с оплатой труда, покупкой инструмента, и сократить время выполнения работ.

Помимо роботизированного оборудования для сверления отверстий специалистами разработаны мини-роботы и соответствующее программное обеспечение для проведения подготовки отверстий и последующей установки заклепок. Одним из образцов данного вида устройств является изделие производства испанского концерна MTorres (рис. 2). В нем реализована возможность перемещения по фюзеляжу самолета по определенному алгоритму. Этот РТК способен заменить труд человека и сократить время на выполнение работ по подготовке фюзеляжа самолета к следующим производственным операциям.

В связи с увеличением доли композитных материалов в структурной массе внешней обшивки летательных аппаратов возросла необходимость в роботах, специализирующихся на автоматической укладке композитов на конструктивные части самолета (рис. 3).



Рис. 1. Промышленный робот KUKA



Рис. 2. РТК, разработанный концерном MTorres

Технические исследования в области авиастроения и робототехники показывают, что РТК могут применяться для изготовления крупных частей фюзеляжа и крыльев, полной и частичной покраски корпуса самолета. Роботизированные ячейки за счет ультразвуковых систем решают задачу обнаружения дефектов конструктивных элементов машины, трещин в обшивке.

**РТК в военно-промышленном комплексе.** В соответствии с оценками Boston Consulting Group к 2025 году роботизированные системы будут решать до 26% задач, часть из которых в настоящее время выполняется только посредством ручного труда. Военно-промышленный комплекс является той отраслью, где применение роботизированных комплексов в производственном цикле и при решении военных задач носит единичный характер. При этом существующий уровень развития науки и техники характеризуется наличием технической базы и программных средств для обеспечения возможности передачи части производственных операций под контроль РТК. К этим операциям могут быть отнесены процессы сварки, перемещения отдельных узлов, окраска и сборка компонентов.

Технологии создания РА используются в рамках НИОКР в соответствии с действием Государственной программы вооружения. Специалистами КБ «Рубин» ведется разработка модели беспилотного подводного робота, имеющего конструкцию высокоскоростной торпеды с ядерным зарядом (рис. 4). В 2016 году на вооружение страны поступили автоматизированные беспилотные аппараты и наземные роботы (рис. 5) для проведения разведывательных мероприятий и защиты наземных систем вооружения.



Рис. 3. РТК, выполняющий укладку композитных материалов



Рис. 4. Образец подводного робота производства КБ «Рубин»

В этом же году была представлена система для выполнения гидроакустической разведки «Гармония». Входящие в ее состав роботы способны зафиксировать наличие как надводных, так и подводных объектов, самолетов и передать данные в командный пункт.

**РТК в космической отрасли.** Специалисты отмечают важность РТК и в космической отрасли. На сегодняшний день в этом направлении достигнуты определенные успехи, в частности канадский производитель Shell-o-Matic разработал для космической отрасли несколько десятков РТК. Особое внимание заслуживает автоматизированная система создания керамических оболочковых форм, в основе которой – промышленный робот с возможностью программирования под конкретную задачу (рис. 6).



Рис. 5. Наземный робот для защиты и разведывательных мероприятий



Рис. 6. РТК для производства керамических оболочковых форм

Разрабатываемые роботы различаются количеством степеней свободы, а их грузоподъемность способна достигать 700 кг на вытянутой руке. За управление отвечает программный комплекс на базе ОС Windows с возможностью хранения множества программ нанесения слоев материала. При этом возможна одновременная обработка нескольких деталей по отдельному алгоритму.

Стоит отметить, что отечественная отрасль разработки и производства роботов значительно отстает от зарубежной. Основные достижения в создании промышленных РТК приходятся на Швецию, Германию, Японию и Финляндию. В России действуют компании, предлагающие услуги по доставке, установке и настройке РТК под задачи клиента. В авиакосмической отрасли это уже прошедшее тестирование оборудование для автоматизированной сборки крыльев, комплектующих для спутников, изготовления печатных плат. Российские разработчики делают упор прежде всего на проектирование РА, выполняющих обслуживание полетов космических аппаратов.

В феврале 2017 года специалисты холдинга «Российские космические системы» завершили создание и тестирование дистанционной антенной роботизированной установки, предусматривающей автоматическое отслеживание запуска ракеты-носителя и получение данных о ходе полета и работе технических служб (рис. 7). При этом контроль человека не требуется, а наведение антенны на космический аппарат происходит в автоматическом режиме на основе излучаемого сигнала бортовой службы телеметрии.

РА находят свое применение и в космическом пространстве. Специалистами РКК «Энергия» ведется работа по созданию мобильного робота, который планируется использовать в сооружаемом научно-энергетическом модуле российского сегмента МКС. Данная работа ведется в рамках концепции исследования космоса с применением возможностей автономных роботов.



Устройства данного класса уже работают на орбите для обслуживания космических аппаратов. Речь идет прежде всего о двуруком устройстве с манипуляторами шарнирного типа и шестью степенями свободы (рис. 8). Длина каждого манипулятора составляет 15 метров, грузоподъемность – 3 т. Имея скорость схвата с грузом 3 м/с, устройство способно с высокой точностью позиционировать грузы, погрешность не превышает 5 мм. Предусмотрена возможность замены захватного устройства, а на кисти каждого из манипуляторов находится телевизионная камера.

РА в условиях космического пространства способны с большей эффективностью, чем человек, решать задачи, связанные с обслуживанием работы космических кораблей. В результате появляется возможность уменьшить затраты на обслуживание оборудования и исследовательские программы, повысить безопасность человека, увеличить возможности строительства в условиях невесомости.



Рис. 7. Дистанционная антенная роботизированная система

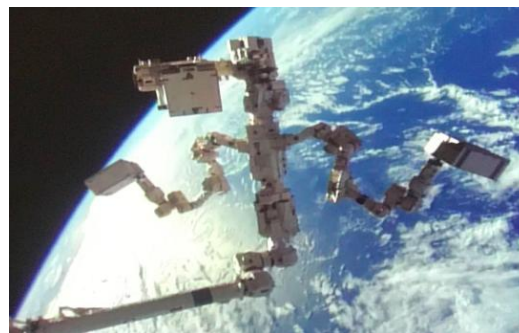


Рис. 8. Двурукий РА, установленный на МКС

Использование РТК в космическом пространстве возможно в двух направлениях. Во-первых, для решения задач в открытом космосе. Работы, связанные с обслуживанием космического корабля (манипуляции с грузами, плановые и срочные ремонтные работы, сборка новых модулей). При этом устройство должно быть защищено от воздействия ионизирующих излучений и приспособлено для условий вакуума. Во-вторых, для исследования космических объектов. Проведение мероприятий по изучению и освоению поверхности планет и других тел космического пространства.

Что касается перспектив отечественной робототехнической отрасли в космическом пространстве, то к 2025 году планируется завершение разработки нескольких человекоподобных роботов, которые будут способны автономно выполнять работы на поверхности космических станций и кораблей. Предполагается, что это будет одним из шагов по замене человека в космосе машинами. Космороботы будут обладать устойчивостью к радиации и перепадам температур. Управление планируется осуществлять силами космонавта-оператора из космического корабля или станции.

**ПО для моделирования РТК.** Для минимизации временных и финансовых затрат на создание РТК необходимо выполнить имитационное моделирование РТК, включающее 3D-моделирование с анимацией всех производственных процессов и решение задач механики как составной части физической симуляции этих процессов. 3D-моделирование позволяет определить оптимальную расстановку оборудования (манипуляторов, станков, оснастки и т.д.) и найти требуемую площадь для размещения РТК, склада заготовок и готовой продукции. Анимация позволяет убедиться в реализуемости всех технологических процессов, а также построить программные движения манипуляторов, необходимых для выполнения производственных процессов. Решение первой задачи динамики, т.е. вычисление динамических реакций в шарнирах и движущих силовых факторов в приводах, необходимо для определения допустимых шарнирных нагрузок и требуемой мощности приводов при выполнении программных движений. Решение второй задачи динамики и задач управления позволяет убедиться в достижении требуемой динамики и точности выполнения технологических операций.

Результаты вычислений и анимации используются для выбора технологического оборудования и в первую очередь манипуляторов на обширном рынке. Если этот выбор сделать не удастся, то на основе выполненных расчетов формируется техническое задание на разработку нового оборудования и в первую очередь манипуляторов.

Авторами статьи под руководством д.ф.-м.н., проф. А.И. Телегина и при грантовой поддержке фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере разработано ПО «СистемаТел», позволяющее решать задачи: составления спецификаций на покупное оборудование в составе РТК; составления технического задания на создание уникального (инновационного) оборудования РТК; генерации твёрдотельных моделей роботов и передача (конвертирование) их в САД-системы; генерации уравнений механики в символьном виде с явно выраженными параметрами для решения задач проектирования механических систем и управления ими; синтеза формул вычисления управляющих воздействий по законам ПИД-регуляторов программных движений и их использования для управления имеющимися или разрабатываемыми роботами. Промежуточные результаты опубликованы в работах [1–3].

В отличие от имеющихся аналогов, таких как Gazebo, Marilou, Microsoft Robotics Developer Studio, Simbad, RobSim, TeamBots, во-первых, созданное Web-приложение работает в любом современном браузере. Во-вторых, это приложение XML-ориентировано, поэтому имеет простой и короткий открытый код. В-третьих, результатом моделирования РТК является автоматически сгенерированный html-документ, содержащий X3D-разметку РТК. В-четвёртых, предлагаемое приложение оптимизировано под методологию «снизу вверх» построения математических и 3D-моделей РТК с их

анимацией. В-пятых, созданное Web-приложение является составной частью графического интерфейса ПО «СистемаТел», т.е. используется для ввода исходных данных и вывода результатов решения задач механики, управления движением, идентификации параметров тел и синтеза РТК с заданными свойствами. Известное нам ПО не имеет первые четыре достоинства, а наши попытки использовать это ПО для решения задач механики и управления движением роботов оказались менее эффективны по сравнению с решением этих задач в ПО «СистемаТел». Для решения задач идентификации параметров тел и синтеза роботов с заданными свойствами использовать известное нам ПО практически невозможно.

**Заключение.** Международный интерес к робототехнике с каждым годом возрастает, что отражено, например, на сайтах [4–9]. Регулярно в этом направлении проводятся выставки, на которых демонстрируются достижения в области проектирования РТК. Ведется разработка РА для обслуживания нужд авиации, космоса и ВПК. Они способны автономно решать задачи по защите наземных объектов и отражению атак врага под водой, на воде, на земле и в воздухе, а также позволяют контролировать полеты космических аппаратов.

В России в настоящее время практическая реализация РТК остается на низком уровне. Это обусловлено несколькими причинами. Во-первых, консервативность многих отраслей промышленности. Большинство образцов авиационной, военной техники и космических аппаратов производится по устаревшим технологическим процессам. Применение робототехники требует модернизации этих процессов, что связано со значительными бюрократическими препятствиями. Во-вторых, человеческий фактор. У руководителей предприятий должна присутствовать необходимая решимость для реализации новшеств и формирования у персонала качественно нового мышления.

Возможность применения РТК и РА в военно-промышленном комплексе страны уже оценена высшим командным составом. В планах ведомства ежегодное расширение сферы применения данного оборудования, что позволит ежегодно экономить до 40 млрд рублей. Мы надеемся, что наш опыт и создаваемое ПО будут способствовать реализации этих планов.

#### Библиографический список

1. Телегин А.И. Генератор X3D-моделей механических систем [Электронный ресурс] / А.И. Телегин, Д.Н. Тимофеев // Наука ЮУрГУ: материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – С.1709–1715. – URL: [http://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU\\_KONF&key=000537718&dtype=F&etype=.pdf](http://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_KONF&key=000537718&dtype=F&etype=.pdf).

2. Телегин А.И. Web-приложение для моделирования механических систем со структурой открытого дерева [Электронный ресурс] / А.И. Телегин, Д.Н. Тимофеев // Наука ЮУрГУ: материалы 68-й научной конференции. Секции техни-

ческих наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – С. 1123–1130. – URL: [http://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU\\_KONF&key=000549567&dtype=F&etype=.pdf](http://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_KONF&key=000549567&dtype=F&etype=.pdf).

3. Свидетельство № 2015618268 Российская Федерация. Прикладная программа для ЭВМ «Генератор Х3D-модели механической системы»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / А.И. Телегин, Д.Н. Тимофеев; заявитель и правообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) (ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ)). – № 2015613339; заявл. 23.04.2015; зарегистр. 04.08.2015. – 1 с.

4. Применение роботов в аэрокосмической промышленности [Электронный ресурс] // Промышленный интернет-портал. – URL: <https://mirprom.ru/>.

5. Прогнозы, статистика в области промышленных роботов [Электронный ресурс] // Новости и справочная информация о роботах в России и мире. – URL: <http://robotrends.ru/>.

6. С 2016 года Россия начнет продвижение на мировой рынок боевого робота «Уран-9» // Информационное агентство «Оружие России». – URL: <http://www.arms-expo.ru/>.

7. Оборудование для изготовления керамических оболочковых форм [Электронный ресурс] // Российская ассоциация литейщиков. – URL: <http://www.ruscastings.ru>.

8. В РКС создали роботизированный антенный комплекс для сопровождения пусков ракет-носителей [Электронный ресурс] // Российские Космические системы. – URL: <http://russianspacesystems.ru/>.

9. Космический манипулятор: как это работает [Электронный ресурс] // Популярная механика. – URL: <http://www.popmech.ru/>.

[К содержанию](#)