

# СЕКЦИЯ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 621

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА НОВЫХ ПРИНЦИПАХ

Ю. Н. Кузнецов, М. Н. Полищук

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени И. Сикорского»*

**Введение.** Мобильные роботы произвольной ориентации (РПО) в пространстве, известные в ряде публикаций также как роботы вертикального перемещения, а в международных изданиях – под термином Climber Robot (альпинистский робот), являются новой модификацией мобильных роботов, оснащенных средствами удержания робота на поверхности произвольной ориентации относительно горизонта технологического пространства. Создание данного вида робототехники находится на начальной стадии и продиктовано условиями четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» [1]. Экспериментальные образцы мобильных роботов [2]–[4] в совокупности с методическими рекомендациями могут быть основой для их дальнейшего развития.

**Цель исследования.** Проблема создания роботов указанного типа состоит в отсутствии методологии исследования, направленного на синтез подсистем удержания роботов на поверхности перемещения с преодолением гравитационной нагрузки для гарантированного удержания робота на произвольно ориентированной поверхности перемещения при выполнении технологических операций. Поэтому целью настоящих исследований является разработка принципов синтеза мобильных роботов и реализация их современными средствами компьютерного моделирования для перехода к проектно-конструкторским разработкам.

**Методика проведения исследований.** Предложены новые перспективные направления совершенствования роботов произвольной ориентации (РПО). Эти направления могут быть реализованы посредством трех основополагающих принципов синтеза: 1) накопления потенциальной энергии на каждом предыдущем участке перемещения и преобразования ее в кинетическую энергию движения на следующем участке движения; 2) интеграции приводов продольного, вертикального перемещения, а также приводов изменения ориентации робота согласно заданному маршруту; 3) применения генераторов тяги (аэродинамической подъемной силы) как средства противодействия гравитационной силе с целью увеличения технологической нагрузки при одновременном уменьшении мощности приводов движения и сцепления робота с поверхностью перемещения.

Для построения статических и динамических моделей РПО при компьютерном моделировании в целях их структурно-параметрического синтеза применены методы кинестатики на принципах Германа–Ейлера–Д’Аламбера, уравнения Лагранжа II рода в обобщенных координатах, метод координатной оптимизации, а также методы оптимизации параметров многоуровневых иерархических систем. В качестве ин-

## 32 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

струментального обеспечения построения указанных моделей применены программные средства математического моделирования Matlab R2014 и Mathcad 15, а синтез конструкций функциональных узлов роботов осуществлен в графических средах проектирования Компас 3D и AutoCAD.

**Результаты исследований.** На рис. 1 показаны результаты моделирования мобильного робота [5], реализующего первый из указанных выше принципов. Из представленных графиков зависимостей выполняемой работы  $A$  (Nm) от углов поворота  $\beta^\circ$  педипуляторов робота очевидно доминирующее влияние жесткости  $j$  упругих элементов, осуществляющих накопление потенциальной энергии и преобразование ее в кинетическую энергию движения робота.

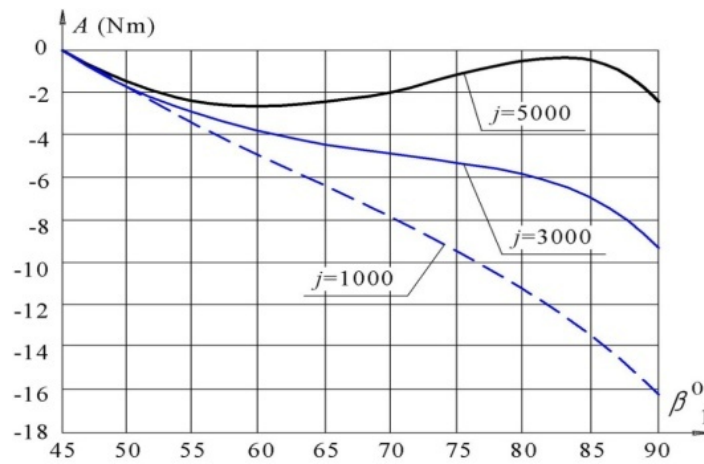


Рис. 1. Зависимости выполняемой работы  $A$  (Nm) от углов поворота  $\beta^\circ$  педипуляторов робота

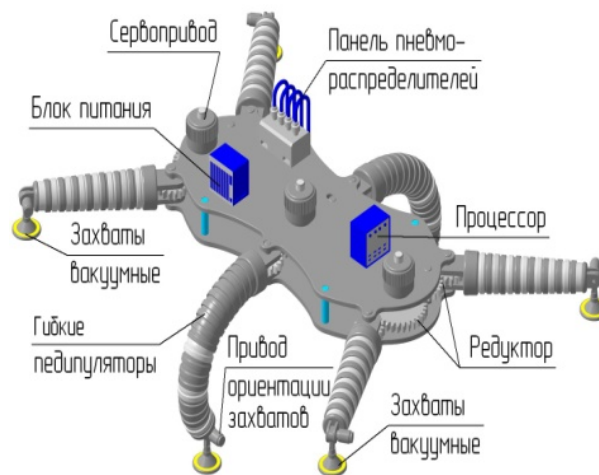


Рис. 2. Модель робота с гибкими педипуляторами

Второй принцип, как отмечено выше, предполагает интеграцию приводов перемещения [6] с целью их уменьшения, а значит и массы робота. Известно, что в Декартовом пространстве имеется шесть степеней свободы – три поступательных и три

поворотных, каждой из которых согласно классическим решениям соответствует автономный привод. Гибкие педипуляторы робота (рис. 2) обладают способностью работать в различных системах координат: Декартовой, сферической и цилиндрической без дополнительных приводов по каждой координатной оси. Полученные функциональные зависимости позволяют программировать ориентации движения робота и рассчитывать конструктивные параметры педипуляторов РПО.

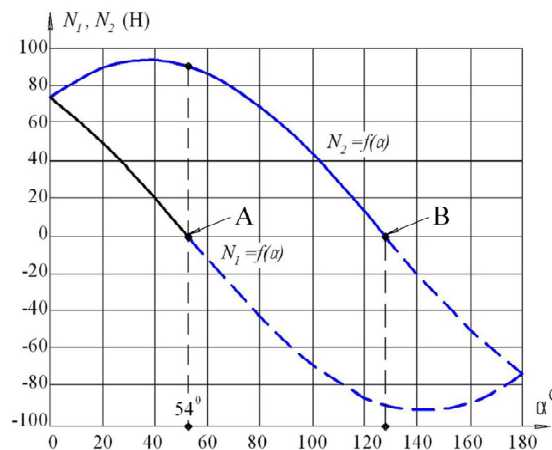


Рис. 3. Графики изменения опорных реакций  $N_1$  и  $N_2$  ног робота в зависимости от угла  $\alpha$  наклона робота к горизонту

И наконец, третий принцип – применение генераторов тяги как средства противодействия гравитационной силе, реализует робот [7]. Как показывают результаты моделирования на графиках рис. 3, точки «А» и «В» определяют критический угол  $\alpha$  наклона робота к горизонту, когда ноги робота начинают проскальзывать и необходимо включать генератор тяги для преодоления силы гравитации.

#### Литература

1. Кузнецов, Ю. Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины / Ю. Н. Кузнецов // Вестн. ХНТУ. – 2017. – № 2 (61). – С. 67–75.
2. Черноусько, Ф. Л. Мобильные роботы: исследования, разработки, перспективы / Ф. Л. Черноусько, Н. Н. Болотник, В. Г. Градецкий. – 2018. – Режим доступа: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=f5c75bcf-2fa5-40e6-b067-4492f0c5ab22&print=1>.
3. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям / В. Г. Градецкий [и др.]. – М. : Наука, 2001. – 360 с.
4. International Journal of Engineering Research and General Science. Vol. 2, ISSN 2091-2730. Developments in wall climbing robots : a review. – 2014. – P. 36–37.
5. Polishchuk, M. N. Mobile climbing robot with elastic energy accumulators / M. N. Polishchuk, V. V. Oliinyk. – К. : Mechanics and Advanced Technologies. – 2018. – № 1 (82). – P. 116–122.
6. Polishchuk Mikhail. Walking Mobile Robot of Arbitrary Orientation / Mikhail Polishchuk, Mark Opashnianskyi, Nikita Suyazov // International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM). – 2018. – Vol. 8, № 3. – P. 1–11.
7. Заявка № а201805661 на выдачу патенту UA МПК В62D 57/024. Антигравітаційний мобільний робот Поліщука / М. М. Поліщук // заявл. 22.05.2018. – К. : Укрпатент, 2018. – 16 с.