

DOI 10.37539/2949-1991.2026.41.6.050
УДК 531

Алферов Геннадий Викторович,
доцент, кандидат ф.-м. наук,
Санкт-Петербургский государственный университет
Alferov Gennady Viktorovich,
Associate Professor, PhD in Physics and Mathematics,
Saint Petersburg State University

Королев Владимир Степанович,
доцент, кандидат ф.-м. наук,
Санкт-Петербургский государственный университет
Korolev Vladimir Stepanovich,
Associate Professor, PhD in Physics and Mathematics,
Saint Petersburg State University

Шиманчук Дмитрий Викторович,
доцент, кандидат ф.-м. наук,
Санкт-Петербургский государственный университет
Shimanchuk Dmitry Viktorovich,
Associate Professor, PhD in Physics and Mathematics,
Saint Petersburg State University

УПРАВЛЕНИЕ В ЗАДАЧАХ МЕХАНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ CONTROL IN PROBLEMS OF MECHANICS AND ROBOTICS

Аннотация. Рассматриваются математические модели процессов управления в задачах механики и основные этапы развития научных направлений по аналитической механике, космической динамике, робототехнике или проблем управления в публикациях Новоселова Виктора Сергеевича (1926-2019) и Кулакова Феликса Михайловича. (1931-2019).

Abstract. Mathematical models of control processes in problems of mechanics and the main stages of the development of scientific directions in analytical mechanics, cosmic dynamics, robotics or control problems are considered in the publications of Novoselov Viktor Sergeevich and Kulakov Felix Mikhailovich.

Ключевые слова: Космическая динамика, управление, робототехника.

Keywords: Space dynamics, control, robotics.

*Посвящается Виктору Сергеевичу Новоселову (1926-2019) и
Кулакову Феликсу Михайловичу (1931-2019).*

Введение.

Увлечение научными исследованиями начинались еще в студенческие годы в под руководством Юрия Александровича Круткова (1890-1952) и Николая Николаевича Поляхова (1906-1987).

После окончания ЛГУ в 1951 г. В.С. Новоселов был оставлен для работы на кафедре теоретической механики и защитил диссертацию «Некоторые вопросы механики переменных масс» (1952). Теоремы динамики были распространены на механические системы переменного состава. Это позволило уточнить уравнение Мещерского и обобщить уравнение Жуковского. Докторская диссертация «Некоторые вопросы неголономной механики» содержит ряд результатов для построения аналитических решений уравнений и необходимых условий оптимизации космических траекторий [1-7].



Интерес к новым задачам проявился благодаря развитию теории уравнений движения неголономных систем и вариационными принципами механики, теории управляемых систем и методов космической динамики в задачах оптимизации.

Вклад в науку определялся постоянным интересом к трудным или новым проблемам аналитической механики, управления движением механических систем и космической динамики [3-11]. В рамках госбюджетной тематики проводились исследования по аналитическим и численным алгоритмам динамики управляемого движения, гамильтоновым системам, методам оптимизации в нелинейных задачах механики [6]. Ряд интересных результатов получен учениками В.С. Новоселова в сотрудничестве с зарубежными учеными. Решены базовые задачи механики систем с переменными массами или переменной структуры. В разные годы В.С. Новоселов неоднократно обращался к исследованию управляемого движения систем при действии случайных возмущений или сил [34-36].

Основное направление исследования было связано с задачами оптимального управления в космической динамике, но тематика и методы исследования постоянно расширялись. Была образована учебно-научная Лаборатория Робототехники и Мехатроники, а позднее был открыт филиал кафедры в рамках Института информатики и автоматизации РАН под руководством Кулакова Феликса Михайловича. Одновременно с организацией филиала кафедры была усилена работа лабораторий и кафедры на факультете ПМ-ПУ, которые выполняли важные государственные работы по разработке алгоритмов и программному обеспечению. Робототехника и мехатроника определяют большой круг научных проблем для решения задач управления движением механических систем или конструкций [8-33].

В конце 1960-х гг. осуществлялось теоретическое осмысление проблемы, поиск подходов к построению алгоритмов системы принятия решений и методов управления для оживления роботов. В результате один из найденных подходов сводил задачу построения системы принятия решений тактического уравнения, формирующего программную траекторию для низшего уровня, к задаче нелинейного математического программирования. Результатом решения этой задачи явилось построение последовательности аргументов функционала, которые приводят его к глобальному минимуму. Он представляет собой геометрическую разность между векторами, формализующими целевое и текущее состояния робота и окружающей среды. Минимизирующая последовательность строится в реальном масштабе времени, соответствующем темпу перемещения робота. Каждый ее элемент является программным значением выходных координат приводов в соответствующий момент времени. Ограничения на аргумент в виде равенств и неравенств формализуют область допустимых положений робота, свободную от препятствий. Результаты дальнейших исследований были опубликованы по супервизорному управлению [12-36].

Важные результаты получены Ф.М. Кулаковым в области применения методов виртуальной реальности в задачах управления роботами и другими мехатронными системами [37-38]. Особую ценность они имеют при решении проблем создания тренажеров для космических и подводных роботов с функциями интеллектуальных интерфейсов человек-робот. Дальнейшие исследования были нацелены на разработку методов и средств, позволяющих создавать более совершенный информационно-управляющий комплекс робота, увеличивающий степень универсализма и автономности его поведения. Ф.М. Кулаков успешно преодолел главную трудность при решении этой задачи, которая была связана с формированием компьютерной модели, объединяющей формализованные знания о внешнем мире и о самом роботе.

Заключение.

Построена теория управления движением механических систем, в том числе в сложных гравитационных полях на основе методов аналитической механики.



Методы дистанционного билатерального управления, при наличии запаздывания решают задачу управления путем совершенствования традиционных методов с помощью прогноза или за счет использования "пассивных" методов управления. Однако они не дают возможность кардинального решения задачи дистанционного управления. В методе билатерального дистанционного управления решается проблема запаздывания в передаче сигнала, что делает метод более предпочтительным. Предусмотрена адаптация поведения робота к возможной неточности достаточно широкого класса внешней среды. Основные результаты докладывались и обсуждались на научных конференциях или публиковались в журналах и сборниках научных работ [12-36], которые могли быть направлены на развитие робототехники.

Список литературы:

1. Новоселов В.С. Аналитическая механика систем с переменными массами. Л., 1969, 240 с.
2. В. С. Новоселов. Аналитическая теория оптимизации в гравитационных полях. Л., 1972.
3. В. С. Новоселов, В. С. Королев. Аналитическая механика управляемой системы: СПб., 2005, 298 с .
4. Новоселов В.С., Бабаджанянц Л.К., Федорова Л.И. Задача прогнозирования вращательного движения несимметричного закрученного ИСЗ // Механика управляемого движения и проблемы космической динамики. Л.: изд-во ЛГУ, 1972, с. 103-113.
5. Поляхова Е.Н. Космический полет с солнечным парусом: проблемы и перспективы. М.: Наука, 1986.
6. Новоселов В.С., Кирпичников С.Н., Королев В.С., Поляхова Е.Н., Шмыров А.С. Аналитические и качественные методы исследования вырожденных случаев возмущенных и управляемых гамильтоновых систем // Отчет о НИР 96-01-00609, Российский Фонд Фундаментальных Исследований, 1996.
7. Новоселов В.С. Асимптотическое представление экстремальных траекторий возмущенной гамильтоновой системы // Вестник СПбГУ. Сер.1. Вып.4 (N22), 2001.
8. Кулаков Ф.М., Игнатъев М.Б., Покровский А.М. Алгоритмы управления роботами-манипуляторами. Л.: Машиностроение, 1972.
9. Кулаков Ф.М. Организация супервизорного управления робота-манипулятора / Известия АН СССР, Техническая кибернетика. 1976. № 5. С. 37–46.
10. Кулаков Ф.М., Шмыров А.С., Шиманчук Д.В. Управление космическим роботом с использованием неустойчивой точки либрации // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2014. № 7. С. 23-28.
11. Королев В.С. Задачи оптимального маневрирования космических аппаратов для инспектирования или обслуживания системы тел // Исследования Наукограда. Научный журнал. ООО "Умный город" (Железногорск), 2015. № 2(12). 18-23.
12. Кулаков Ф.М. Методы супервизорного телеуправления космическими роботами // Известия РАН. Теория и Системы Управления. 2018. № 5. С. 161–181.
13. Кулаков Ф.М. Методы супервизорного телеуправления космическими роботами // Известия РАН. Теория и Системы Управления. 2018. № 5. С. 161–181.
14. Кулаков Ф.М. Методы супервизорного телеуправления космическими роботами // Известия РАН. Теория и Системы Управления. 2018. № 5. С. 161–181.
15. Кулаков Ф.М., Алферов Г.В., Нечаев А.И., Чернакова С.Э. Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике. СПб: Изд-во СПбГУ, 2009. 167 с.



16. Кулаков Ф.М., Соколов Б.В., Алферов Г.В., Ефимова П.А. Дистанционное управление с адаптацией к изменениям его внешней среды // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2018. № 4 (43). С. 16-26.
17. Кулаков Ф.М. Организация супервизорного управления робота-манипулятора / Известия АН СССР, Техническая кибернетика. 1976. № 5. С. 37–46.
18. Kulakov F.M. Robust Motion Control for Robots with Flexible Elements. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. 2000. No. 4. P. 161–191.
19. Kulakov F.M. Control systems of haptic man-machine interfaces // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2010, Vol. 49, № 4. P. 643–671.
20. Kulakov F.M. Active force-torque robot control without using wrist force-torque sensors // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2012. Vol. 51, № 1. P. 147–168.
21. Kulakov F. M. Methods of supervisory telecontrol of space robots // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. 2018. No. 5. P. 161-181.
22. Kulakov F., Alferov G.V., Efimova P., Chernakova S., Shymanchuk D. Modeling and Control of Robot Manipulators with the Constraints at the Moving Objects // Intern. Conf. "Stability and Control Processes" in Memory of V.I. Zubov (SCP 2015-Proceedings. P.7342075), St. Petersburg, 2015. pp. 102-105.
23. Kulakov, F., Alferov, G., Efimova, P. Methods of remote control over space robots // (2015) 2015 International Conference on Mechanics - Seventh Polyakhov's Reading, статья № 7106742.
24. Kulakov F.M., Sokolov B.V., Alferov G.V., Efimova P.A. Remote control of space robots with adaptation to changes in its external environment // Bulletin of Perm University. Series: Mathematics. Mechanics. Computer science. 2018. No. 4 (43). S. 16-26.
25. Кулаков Ф.М. Методы супервизорного телеуправления космическими роботами // Известия РАН. Теория и Системы Управления. 2018. № 5. С. 161–181.
26. Kulakov F., Alferov G., Sokolov B., Gorovenko P., Sharlay A. Dynamic analysis of space robot remote control system // AIP Conference Proceedings. 2018. V. 1959. P. 080014.
27. Kulakov F., Kadry S., Alferov G., Sharlay A. Bilateral Remote Control over Space Manipulators (2018) // AIP Conference Proceedings, V. 2040, P. 150015.
28. Kulakov F.M., Kadry S., Alferov G.V., Efimova P.A. Remote Control of Space Robots Change-Adaptive in its External Environment // (2019) International Journal of Online and Biomedical Engineering, 2019, V.15, №7, pp. 84-98.
29. Kulakov, F., Kadry, S., Alferov, G., Sharlay, A. Bilateral remote control over space manipulators (2018) AIP Conference Proceedings, 2040, статья № 150015. DOI: 10.1063/1.5079218
30. Kulakov, F., Alferov, G., Sokolov, B., Gorovenko, P., Sharlay, A. Dynamic analysis of space robot remote control system (2018) AIP Conference Proceedings, 1959, статья № 080014. DOI: 10.1063/1.5034731
31. Kulakov, F., Sokolov, B., Shalyto, A., Alferov, G. Robot master slave and supervisory control with large time delays of control signals and feedback (2016) Applied Mathematical Sciences, 10 (33-36), pp. 1783-1796. DOI: 10.12988/ams.2016.6380
32. Kulakov, F., Alferov, G.V., Efimova, P., Chernakova, S., Shymanchuk, D. Modeling and control of robot manipulators with the constraints at the moving objects (2015) 2015 International Conference on "Stability and Control Processes" in Memory of V.I. Zubov, SCP 2015 - Proceedings, статья 7342075, pp.102-105.
33. Kulakov, F., Alferov, G., Efimova, P. Methods of remote control over space robots (2015) 2015 International Conference on Mechanics - Seventh Polyakhov's Reading, статья № 7106742. DOI: 0.1109/POLYAKHOV.2015.7106742



34. Novoselov, V.S. Asymptotic representation of extremal trajectories of a perturbed Hamiltonian system. Bulletin of St. Petersburg State University. Ser.1. Issue 4 (N 22), 2001.

35. Novoselov V.S. Complicated trajectory optimization scheme in a gravitational field with allowance for perturbations and constraints. // Bulletin of St. Petersburg State University, Ser. 1. 2002, 4 (25), pp. 68-73.

36. Novoselov, V.S. On special optimal fuel consumption control in the central gravitational field. // Bulletin of St. Petersburg State University. Ser.10, 2007, no. 3, s. 54-61.

37. Алферов Г. В., Бабаджанянц Л. К., Королев В. С., Шмыров А. С. Выдающийся ученый и замечательный педагог (К 90-летию Новоселова В. С.) // Процессы управления и устойчивость. 2016. Т. 3. № 1. С. 741–751.

38. Алферов Г.В., Королев В.С., Поляхова Е.Н., Холшевников К.В. Моделирование задач динамики и развитие научных направлений механики и прикладной математики. Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2021. Т. 8. № 1. С. 138-149.

