

УДК 531

Феликс Михайлович Кулаков и теоретическая робототехника (04.07.1931–11.11.2019)

Г. В. Алфёров, В. С. Королёв, Д. В. Шиманчук

Санкт-Петербургский государственный университет
Россия, 198504, г. Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский просп., 35
alfero@gv@gmail.com, (812) 428-43-56

О. Г. Пенский, В. И. Яковлев

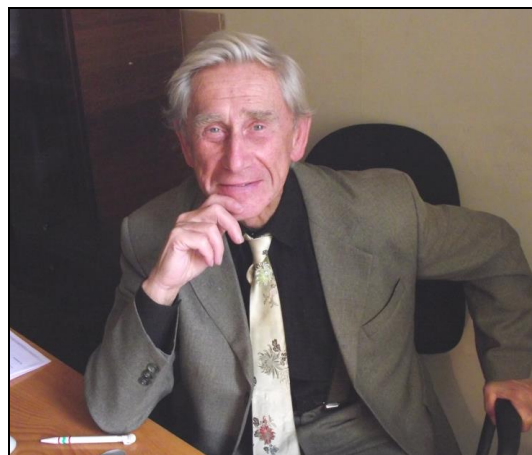
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15
ogpensky@mail.ru; +7 342 2396309
iakovlev@psu.ru; 8 (342) 2396309

Памяти профессора
Санкт-Петербургского
государственного университета
Феликса Михайловича Кулакова

Ключевые слова: робот; манипулятор; космические роботы; телеуправление; супервизорное управление; дистанционное управление; неголономные связи; силовая обратная связь; билатеральное управление.

DOI: 10.17072/1993-0550-2020-1-115-119

Недавно мы отмечали 85-летие со дня рождения Феликса Михайловича Кулакова, российского ученого, специалиста по робототехнике и мехатронике, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента Российской академии технологических наук, профессора кафедры механики управляемого движения факультета прикладной математики – процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета, основателя филиала кафедры при СПИИ РАН [1].



Но жизнь не может продолжаться вечно. 11 ноября 2019 г. на 89 году жизни Ф.М. Кулаков скончался.

Жизнь и научное творчество

Феликс Михайлович Кулаков родился в г. Надеждинске Уральской области.

В 1949 г. окончил школу с золотой медалью и поступил в Ленинградский политехнический институт им. Калинина (ЛПИ) на факультет электромеханики. С отличием окончил вуз в 1955 г. по специальности "Автоматика и телемеханика" и поступил на работу в НИИ электрофизической аппаратуры, где активно включился в работу по разработке новых методов систем управления.

Позже Ф.М. Кулаков поступил в аспирантуру на кафедру "Автоматика и телемеханика" ЛПИ. В 1966 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию "Методы управления полем электромагнита синхрофазотрона". Ученый Совет ЛПИ постановил присудить Ф.М. Кулакову степень кандидата технических наук, и по конкурсу он был оставлен на кафедре в должности старшего научного сотрудника.

На кафедре научно-исследовательская работа интенсивно велась в области создания АСУ ракетно-воздушных сил страны. Ф.М. Кулаков влился в коллектив молодых ученых и принял активное участие в создании системы мягкой посадки спускаемых на Землю космических аппаратов, в том числе и с космонавтами. Позднее определилась сфера научных интересов, которая была связана с созданием роботов. Под роботом он понимал управляемый с помощью ЭВМ манипулятор, оснащенный сенсорами, техническим зрением и интерфейсом для общения с человеком. В конце 1960-х гг. осуществлялось теоретическое осмысление проблемы, поиск подходов к построению системы принятия решений и методов осязания роботов. По результатам проведенных исследований была написана работа [2–7].

Дальнейшие исследования Ф.М. Кулакова 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. Полученные результаты послужили основой для докторской диссертации "Супервизорное управление роботами", которую успешно защитил в 1974 г. Это была одна из первых диссертаций в стране по робототехнической тематике. Результаты этих и дальнейших исследований по супервизорному управлению были опубликованы [8–14].

С 1977 по 2019 г. Ф.М. Кулаков работал по совместительству в качестве профессора на кафедре механики управляемого движения факультета Прикладной математики – процессов управления Ленинградского государственного университета. На факультете была создана учебно-научная лаборатория робототехники и мехатроники.



В 1981 г. совместно с доцентом этой кафедры Г.В. Алфёровым организовал филиал кафедры при Ленинградском научно-исследовательском вычислительном центре АН СССР. Образовавшийся коллектив принимал активное участие в научных исследованиях и преподавательской деятельности. Работа этого филиала представляет собой пример сотрудничества академической и вузовской науки.

Влияние Ф.М. Кулакова на развитие робототехнических систем и мехатроники

В последние годы научные интересы Ф.М. Кулакова были связаны с актуальными вопросами разработки методов и аппаратно-программных средств визуально-кинестетического взаимодействия с виртуальными объектами и моделями космических объектов с имитацией невесомости или особенностей гравитации планет и их спутников.

Важные результаты были получены в области применения методов виртуальной реальности в задачах управления роботами и другими мехатронными системами. Они имеют особую ценность при создании тренажеров для космических или подводных роботов с функциями интеллектуальных интерфейсов человек-робот [15–26]. В рамках госбюджетной тематики проводились теоретические и прикладные исследования по аналитическим и численным алгоритмам управляемого движения робототехническими системами, методам численного интегрирования и оптимизации в нелинейных задачах механики. Ряд интересных результатов получен коллегами и учениками Ф.М. Кулакова, в том числе в сотрудничестве с зарубежными учеными, что является вкладом в мировую науку.

Ф.М. Кулаков также предложил и обосновал [27–36] метод дистанционного управления космическим роботом, предназначенным для выполнения в недетерминированной внешней среде разнообразных операций с предметами, как свободно перемещаемыми в пространстве, так и имеющими голономные связи, ограничивающие свободное перемещение. Последнее характерно при выполнении сборочных операций наиболее востребованных в настоящее время при освоении космоса.

Метод базируется на использовании важной особенности, характеризующей каждую выполняемую операцию: наличие так

называемого паспорта выполняемой операции по взаимодействию рабочего инструмента работа с объектами внешней среды. Он включает закон изменения во времени вектора силы и момента взаимодействия, а также "привязанный" к нему закон изменения вектора положения объекта в системе координат рабочего инструмента. Паспорт операции не зависит от позиции и ориентации объекта, с которым взаимодействует рабочий инструмент работа в базовой системе координат. Ф.М. Кулаков разработал структуру позиционно силового управления роботом, синтезировал законы управления, определил особенности конструкции манипулятора, при которых обеспечивается устойчивость процесса управления, что гарантирует работоспособность предложенного им метода. Верификация полученных результатов подтверждена на созданном экспериментальном робототехническом комплексе, на котором были произведены экспериментальные исследования, подтвердившие работоспособность предложенного метода управления.

Основные результаты обсуждались на научных конференциях и публиковались в журналах и сборниках научных работ [2–45]. Научные работы Феликса Михайловича Кулакова внесли фундаментальный вклад в развитие робототехники и мехатроники.

Основные публикации

1. Алфёров Г.В., Ефимова П.А., Матросов А.В., Шиманчук Д.В. Выдающийся новатор робототехники // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2016. Вып. 2(33). С. 142–146.
2. Кулаков Ф.М., Игнатъев М.Б. Способ синтеза системы управления автоматическим манипулятором // Тр. Лен. ин-та авиационного приборостроения. Л. 1969. Вып. 63.
3. Кулаков Ф.М., Игнатъев М.Б. и др. Алгоритмы управления движением роботов от ЭВМ // Тр. Лен. ин-та авиационного приборостроения. Л. 1969. Вып. 69.
4. Кулаков Ф.М. и др. Алгоритмы управления адаптивной шагающей машиной // Тр. научного Совета по кибернетике, 1969. Вып. 15. С. 10–13.
5. Кулаков Ф.М. и др. О проблеме создания глубоководного манипулятора с автоматическим управлением // Океанология. М., 1970. Т. 10, вып. 6. С. 1090–1100.
6. Кулаков Ф.М., Игнатъев М.Б., Покровский А.М. Алгоритмы управления роботами-ма-

- нипуляторами. Л.: Машиностроение, 1972. 247 с.
7. Кулаков Ф.М., Лачинов В.М. Способ управления промышленным роботом, исключаящим режим обучения // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1976. № 3.
 8. Кулаков Ф.М. Организация супервизорного управления робота-манипулятора // Известия АН СССР, Техническая кибернетика. 1976. № 5. С. 37–46.
 9. Кулаков Ф.М. Организация супервизорного управления роботами-манипуляторами (1-я часть) // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1976. № 5.
 10. Кулаков Ф.М. Организация супервизорного управления роботами-манипуляторами (2-я часть) // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1976. № 6.
 11. Кулаков Ф.М. Организация супервизорного управления роботами-манипуляторами (3-я часть) // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1977. № 1.
 12. Кулаков Ф.М., Игнатъев М.Б., Ястребов В.С. Подводные роботы. Л.: Судостроение, 1977.
 13. Кулаков Ф.М. Супервизорное управление манипуляционными роботами. М.: Наука, 1980. 448 с.
 14. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Некесарийский В.Н. Кинематические и динамические модели исполнительной системы робота Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. 80 с.
 15. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В. Автоматизация проектирования робототехнических систем // Проблемы механики управляемого движения: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1984. С. 78–82.
 16. Кулаков Ф.М., Максимов М.Л. Координируемые системы управления программируемым оборудованием гибких автоматизированных комплексов. Л.: Наука, 1989. 213 с.
 17. Кулаков Ф.М., Солнцев П.У., Когонюк А.Е. Автоматизация проектирования гибких производственных систем. Машиностроение, 1990. 415 с.
 18. Кулаков Ф.М., Богомолов В.П. Информационно-управляющие системы нетрадиционно-используемых роботов // Известия РАН. Теория и системы управления. 1999. № 4. С. 168–176.
 19. Кулаков Ф.М. Робастное управление податливым движением роботов с упругими элементами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2000. № 4. С. 161–191.
 20. Кулаков Ф.М. Технология погружения виртуального объекта в реальный мир // Информационные технологии. Приложение к журналу. 2004. № 10.
 21. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Нечаев А.И., Чернакова С.Э. Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике: учеб. пособие. СПб.: СОЛО, 2006. 146 с.
 22. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Нечаев А.И., Чернакова С.Э. Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. 167 с.
 23. Кулаков Ф.М. Системы управления кинестетических интерфейсов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2010. № 4. С. 161–191.
 24. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Нечаев А.И., Чернакова С.Э. Информационные системы виртуальной реальности в мехатронике и робототехнике // СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. 168 с.
 25. Kulakov F.M. Control systems of haptic man-machine interfaces // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2010. Vol. 49, № 4. P. 643–671.
 26. 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.
 27. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Малафеев О.А. Кинематический анализ исполнительной системы манипуляционных роботов // Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 2014. Вып. 46. С. 31–38.
 28. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Малафеев О.А. Динамический анализ исполнительной системы манипуляционных роботов // Проблемы механики и управления: Нелинейные динамические системы: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 2014. Вып. 46. С. 39–46.
 29. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Шарлай А.С. Кинематические модели манипуляционных роботов // Потенциал современной науки. 2014. № 2. С. 37–41.
 30. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Ефимова П.А., Шарлай А.С., Шиманчук Д.В. Управление многозвенными манипуляционными роботами при наличии связей у перемещаемых ими объектов // Устойчивость и процессы управления: матер. III междунар. конф. 2015. С. 121–122.

31. Kulakov F., Alferov G., Efimova P., Chernakova S., Shymanchuk D. Modeling and control of robot manipulators with the constraints at the moving objects 2015 International Conference "Stability and Control Processes" in Memory of V.I. Zubov (SCP). P. 102–105. DOI: 10.1109/SCP.2015.7342075.
32. Кулаков Ф.М., Чернакова С.Э., Нечаев А.И. Моделирование внешней среды для процесса обучения показом: сб. тр. СПИИ РАН. 2015. Т. 2, вып. 1. С. 105–113.
33. Кулаков Ф.М. Методы супервизорного телеуправления космическими роботами // Известия РАН. Теория и Системы Управления. 2018. № 5. С. 161–181.
34. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Ефимова П.А., Соколов Б.В. Дистанционное управления космическими роботами с адаптацией к изменениям его внешней среды // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2018. Вып. 4(43). С. 16–26.
35. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Ефимова П.А. Копирующее управление удаленными роботами с задержкой в передаче сигнала // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2019. № 3(46). С. 47–55.
36. Кулаков Ф.М., Алфёров Г.В., Ефимова П.А. Дистанционное управления манипуляционными роботами // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2019. № 4(47). С. 34–43.
37. Алфёров Г.В., Ефимова П.А., Королёв В.С., Шиманчук Д.В. Метод Кулакова Ф.М. била-терального дистанционного управления космическими манипуляционными робота-ми. М.: ИПУ (в печати).
38. Kulakov F., Kadry S., Alferov G., Efimova P. Remote control of space robots change-adaptive in its external environment // (2019) International journal of online and biomedical engineering, 15 (7). P. 84–98.
39. Kulakov F., Kadry S., Alferov G., Sharlay A. Bilateral remote control over space manipulators //(2018) AIP Conference Proceedings, 2040. С. № 150015.
40. 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.
41. 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). P. 1783–1796.
42. Kulakov F., Alferov G., 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. P. 102–105.
43. 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.
44. Kulakov F., Alferov G., Kadry S., Korolev V., Shymanchuk D. New method remote control of robotic manipulator. (in print).
45. Kulakov F., Alferov G., Kadry S., Korolev V., Shymanchuk D. Master-slave control of remote robot with delay in signal transmission. (in print).

Feliks Mikhailovich Kulakov and theoretical robotics (04.07.1931–11.11.2019)

G. V. Alferov, V. S. Korolev, D. V. Shymanchuk

Saint Petersburg State University; 35, Universitetskaya naberezhnaya, St. Petersburg, 198504, Russia
alferovgv@gmail.com; (812) 428-43-56

O. G. Pensky, V. I. Yakovlev

Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia
opensky@mail.ru; +7 342 2396309; iakovlev@psu.ru; 8 (342) 2396375

In memory of Feliks Mikhailovich Kulakov, Professor at Saint Petersburg State University.

Keywords: robot; manipulator; robot spacecraft; telecontrol; supervisory control; remote control; nonholonomic constraints; force feedback; bilateral control.