

КРАТКИЙ ОБЗОР РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ СЕМЕЙСТВА CANADARM

Н.А. Алиев

nazar2006aliev@gmail.com

Т.В. Сулейманов

sumbuildersteam@gmail.com

Юношеский робототехнический кружок SUMbuilders, СОШ № 11, Сумгаит, Азербайджан

Аннотация

На основе открытых источников выполнен краткий обзор конструкций космических роботов-манипуляторов семейства Canadarm, разработанных Канадским космическим агентством (Canadian Space Agency) с 1981 г. по настоящее время. Обзор содержит краткое описание и сравнительную таблицу характеристик РМ Canadarm 1, Canadarm 2 и Canadarm 3 в части их функциональности в условиях космоса. Отмечены их технические особенности и эксплуатационные возможности каждого из манипуляторов. Выявлена неуклонная тенденция к снижению собственной массы манипуляторов при увеличении их массы полезной нагрузки, дальности действия, углов обслуживания и систем видеонаблюдения.

Ключевые слова

Робот-манипулятор, Канадское космическое агентство, Canadarm 1, Canadarm 2, Canadarm 3, Dexter, Lunar Gateway, сравнительные характеристики, космос

Поступила в редакцию 22.06.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

Введение. Канадское космическое агентство (Canadian Space Agency) (ККА) является одним из мировых разработчиков космической робототехники, включая космические роботы-манипуляторы (РМ), вездеходные машины и др. Космические роботы-манипуляторы представлены семейством Canadarm, разрабатываемым с 1981 г. по настоящее время и насчитывающим уже третью модификацию конструкции (программы Canadarm 1, Canadarm 2 и Canadarm 3 соответственно).

Canadarm 1

Canadarm 1 представляет собой РМ, установленный на возвращаемом космическом челноке (шаттле) и дистанционно управляемый космонавтами с борта. Манипулятор был разработан компанией Spar Aerospace по заказу ККА и представлен в готовом виде 13 ноября 1981 г.

Его основное предназначение развертывание, маневрирование и перемещение полезной нагрузки (модули, малые спутники и т. п.) в забортном пространстве. Робот способен поднимать груз массой до 30 000 кг на земле (в условиях тяготения) и до 266 000 кг в космосе (в невесомости). Также с помощью

Canadarm 1 осуществлялись ремонт и обслуживание спутников, что было слишком затруднительным в случае выполнения этой работы космонавтами [1]. После катастрофы в 2003 г. шаттла «Колумбия» при его возвращении на Землю Canadarm 1 стал использоваться для осмотра внешней поверхности челноков на наличие повреждений систем тепловой защиты [2, 3].

После 30 лет безупречной работы в июле 2011 г. Canadarm 1 после возвращения из космоса был выставлен в качестве экспоната на обозрение в Канадском музее авиации и космонавтики в Оттаве (рис. 1).



Рис. 1. Canadarm 1 в Канадском музее авиации и космонавтики в Оттаве

Canadarm 2

Следующим поколением после Canadarm 1 стал РМ Canadarm 2, разработанный и изготовленный для КАА фирмой MacDonalD Dettwiler Associates. Он представляет собой более крупную и усовершенствованную версию Canadarm 1, устанавливаемую на шаттл. Конструкция робота изготовлена из титановых сплавов и снаружи покрыта слоями кевларовой ткани.

Canadarm 2 был запущен на Международную космическую станцию (МКС) в апреле 2001 г., и с того времени он непрерывно работает по настоящее время и будет возвращен на Землю в 2024 г. Программное обеспечение его системы управления, написанное на языке Ada95 [4], позволяет выполнять почти 100 % операций дистанционно с Земли [5].

Манипулятор играет важнейшую роль при сборке и обслуживании МКС. При этом он перемещает оборудование и иные грузы как по станции, так и при работе во внешнем пространстве — осуществляет поддержку и фиксацию космонавтов, работающих в открытом космосе, обслуживание и осмотр внешнего оборудования, прикрепленного к станции, пристыковку модулей космической станции и т. п. (рис. 2) [6, 7].

Краткий обзор роботов-манипуляторов семейства Canadarm

Робот-манипулятор может перемещаться по рельсам на интегрированной ферменной конструкции с помощью тележки Mobile Transporter, на которой установлена базовая система манипулятора. Также он может самостоятельно передвигаться по поверхности станции, совершая движения, напоминающие ползание гусеницы.



Рис. 2. Canadarm 2 и космический аппарат Dragon

11 марта 2008 г. в качестве «ассистента» для Canadarm 2 к МКС был доставлен и пристыкован манипулятор меньшего размера — Dextre (рис. 3). Он представляет собой «двурукий» малый робот, способный состыковываться непосредственно как с МКС и Canadarm 2, так и с его мобильной базой. Его руки способны выполнять различные прецизионные задачи по сборке и замене орбитальных сменных блоков. Кроме того, поскольку Canadarm 2 при «гусеничном ползании» по поверхности не может нести с собой полезную нагрузку, эту функцию вместо него выполняет состыкованный с ним манипулятор Dextre.

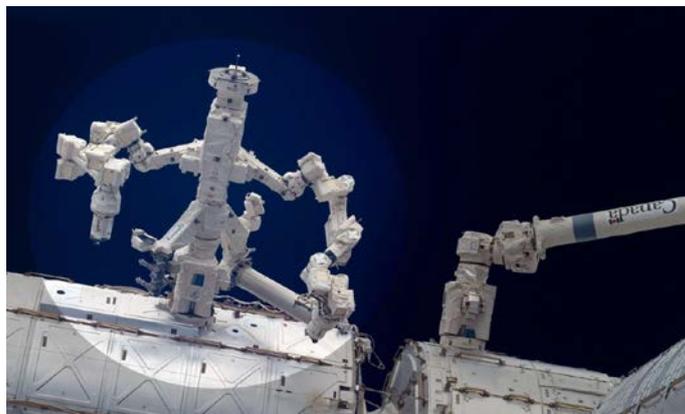


Рис. 3. Dextre (слева) и Canadarm 2 (фрагментарно, справа) при работе на МКС

12 мая 2021 г. в Canadarm 2 попал небольшой обломок орбитального мусора, повредивший его теплозащитное покрытие и одну из стрел, однако его общая работоспособность не пострадала [8, 9].

Конструкция РМ такова, что после плановой замены концевых захватов-эффекторов и видеокамер она может работать и по истечению 2024 г., но на сегодняшний день его конструктивные решения уже считаются устаревшими.

Canadarm 3

В качестве дальнейшего развития семейства Canadarm на данный момент ККАА ведет проектные работы над РМ Canadarm 3, предназначенным для работы на платформе Lunar Gateway (рис. 4). Новый Canadarm планируется оснастить камерами 4К, он будет полностью автоматизированным с функциями искусственного интеллекта.

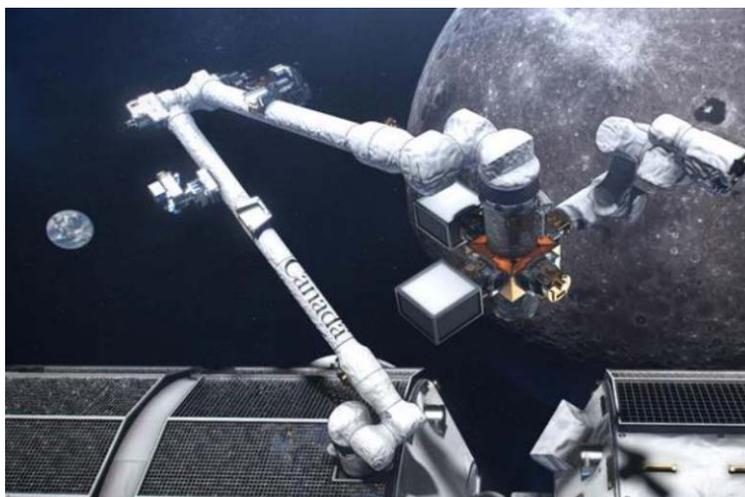


Рис. 4. РМ Canadarm 3 на платформе Lunar Gateway (воображаемый эскиз)

О проекте Canadarm 3 было объявлено в начале 2019 г. в рамках программы исследования Луны до 2050 г.

Предполагается, что более усовершенствованная рука Canadarm 3 будет состоять из трех сегментов — большой руки длиной 8,5 м, меньшей руки и набора сменных инструментов для обслуживания, ремонта и осмотра платформы и выполнения рутинных операций захвата и перемещения модулей Gateway, поддержки космонавтов во время выхода в открытый космос как на окололунной орбите, так и на поверхности Луны. Его вывод на орбиту планируется провести вместе с частью модулей Lunar Gateway в 2026 г.

Для удобства основные рабочие характеристики всех трех систем Canadarm сведены в сравнительную таблицу:

Сравнительные характеристики РМ семейства Canadarm [10]

Характеристика	Canadarm 1	Canadarm 2	Canadarm 3
Размещение	Устанавливался на космический челнок и возвращался на Землю после кратковременных миссий. После списания выставлен в Канадском музее авиации и космонавтики в Оттаве, Онтарио	Установлен на МКС для постоянной работы	Будет установлен на орбитальной платформе Lunar Gateway для постоянной работы
Дальность действия	Установлен на статичной базе, дальность действия ограничена длиной руки	Установлен на мобильной базе, может перемещаться по поверхности МКС	Установлен на мобильной базе, может перемещаться по поверхности платформы Lunar Gateway.
Жесткое соединение	Жестко закреплен на челноке	Не имеет	Не имеет
Число степеней свободы	6 степеней свободы по аналогии с человеческой рукой: <ul style="list-style-type: none"> • два плечевых сустава; • один локтевой сустав • три сустава на запястье 	7 степеней свободы по аналогии с человеческой рукой: <ul style="list-style-type: none"> • два плечевых сустава; • один локтевой сустав • три сустава на запястье 	7 степеней свободы по аналогии с человеческой рукой: <ul style="list-style-type: none"> • два плечевых сустава • один локтевой сустав • три сустава на запястье
Максимальный угол вращения шарниров	160°	Каждый из суставов — 270°, суммарно — 540° (что превышает возможности человеческой руки)	Каждый сустав — 360°
Сенсорная чувствительность	Нет	<ul style="list-style-type: none"> • Датчики силы и момента • Система автоматического предотвращения столкновений 	<ul style="list-style-type: none"> • Датчики силы и момента • Система автоматического предотвращения столкновений

Окончание табл.

Характеристика	Canadarm 1	Canadarm 2	Canadarm 3
			• Видеосистема 3D-изображения окружающих объектов
Длина, м	15	17	8,5
Масса, кг	410	1497	715 (оценка)
Наружный диаметр стрелы, см	33	35	23
Скорость работы, см/с	<ul style="list-style-type: none"> • 60 (без полезной нагрузки) • 6 (при максимальной полезной нагрузке) 	<ul style="list-style-type: none"> • 60 (без полезной нагрузки) • 6 (при макс. полезной нагрузке) • 12 (при работе в открытом космосе) 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 (без полезной нагрузки) • При максимальной полезной нагрузке в стадии определения
Композиционные материалы	16 слоев пластика на основе высокомолекулярного углеродного волокна и эпоксидной смолы	19 слоев высокопрочного термопластика из углеродного волокна	Композит на основе углеродного волокна
Ремонтопригодность	Только по возвращению, на Земле	Возможен внешний ремонт в условиях космоса (конструкция из съемных секций позволяет проводить выборочную замену)	Возможен самостоятельный ремонт в условиях космоса
Управление	Только космонавтами с челнока	С Земли и космонавтами МКС	Автономное, с Земли и космонавтами МКС
Камеры	2 камеры (по одной на локте и запястье)	4 цветные камеры (по одной с каждой стороны локтя, две других — на руках)	6 цветных 4К-камер: <ul style="list-style-type: none"> • по одной 360° камере с каждой стороны локтя • по одной на каждой стреле на поворотных опорах • по две на руках
Эксплуатант	США	Канада и США	Канада

Анализ данной таблицы показывает, что развитие семейства роботов-манипуляторов Canadarm направлено на снижение собственной массы манипулятора с увеличением массы полезной нагрузки, повышением прецизионности выполняемых операций и видеотрансляцией проводимых работ в трехмерном режиме.

Рост отношения массы полезной нагрузки к массе самого РМ обеспечивается не только за счет применения в несущей конструкции стрелы новейших композиционных материалов малой плотности и высокой жесткости и прочности, миниатюризации электронного оборудования, но также и за счет перехода к новой концепции манипулятора как такового. И если традиционная схема подразумевала собой «космический подъемный кран» — статично закрепленную базу со стрелой, рабочий радиус действия которой определялся исключительно ее длиной вылета, что в итоге увеличивало массу всей системы, то облик новейших манипуляторов уже представляет собой легкую компактную «ползающую гусеницу» вдвое меньшей длины, радиус действия которой ограничивается исключительно размером наружной поверхности комической платформы.

Литература

- [1] *Canadarm Shuttle Remote Manipulator System*.
URL: https://www.spacenet.on.ca/data/pdf/canada-in-space/srms_ds.pdf (accessed May 15, 2023).
- [2] Wilks B.B. *Browsing Science Research at the Federal Level in Canada: History, Research Activities and Publications*. Toronto, University of Toronto Press, 2004, 117 p.
- [3] Doetsch K.H., Lindberg G. *Canadarm*. *The Canadian Encyclopedia*.
URL: <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/canadarm> (accessed May 31, 2021).
- [4] *Case Study: MDA — Canadian Space Arm*.
URL: https://www.adacore.com/uploads/customers/CaseStudy_SpaceArm.pdf (accessed October 15, 2009).
- [5] *Canadarm2's Data Sheet*. *Canadian Space Agency*.
URL: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/canadarm2/data-sheet.asp> (accessed May 08, 2019).
- [6] *Axiom Station Assembly Sequence — Axiom Space Axiom Space*.
URL: <https://www.axiomspace.com/axiom-station/assembly-sequence> (accessed August 09, 2021).
- [7] *A Private Space Station Might Be Born From the ISS — Seeker*.
URL: <https://www.seeker.com/international-space-station-retire-private-axiom-orbit-commercializati-2214242152.html> (accessed September 26, 2021).
- [8] Star M. *Space Debris Has Hit And Damaged The International Space Station*. URL: <https://www.sciencealert.com/space-debris-has-damaged-the-international-space-station> (accessed May 31, 2021).

- [9] *EVA Checklist STS-126 Flight Supplement*, 2008, pp. 115, 117, 118. Available at: https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/290103main_sts126_eva_checklist.pdf (accessed May 31, 2021).
- [10] *Canadarm, Canadarm2, and Canadarm3 — A Comparative Table*. *Canadian Space Agency*. URL: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/canadarm2/canadarm-canadarm2-canadarm3-comparative-table.asp> (accessed May 20, 2019).

Алиев Назар Акпер оглы — ученик 11-го класса школы № 11, участник юношеского робототехнического кружка SUMbuilders, Сумгаит, Азербайджан.

Сулейманов Турал Валех оглы — инженер, преподаватель юношеского робототехнического кружка SUMbuilders, Сумгаит, Азербайджан.

Научный руководитель — Романова-Большакова Ирина Константиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Алиев Н.А., Сулейманов Т.В. Краткий обзор роботов-манипуляторов семейства Canadarm. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 06 (83).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-6-912>

A BRIEF OVERVIEW OF THE CANADARM FAMILY ROBOTIC MANIPULATORS

N.A. Aliev

nazar2006aliev@gmail.com

T.V. Suleymanov

sumbuildersteam@gmail.com

SUMbuilders Youth Robotic Club, School no. 11, Sumgait, Azerbaijan

Abstract

Based on the open sources, the paper briefly reviews designs of the Canadarm family space robotic manipulators that were designed and developed by the Canadian Space Agency from 1981 to the present. The review contains brief description and comparative table of the Canadarm 1, Canadarm 2 and Canadarm 3 characteristics in terms of their functionality in the space conditions. Technical features and operational capabilities of each of the robotic manipulator are identified. A steady trend towards decreasing the device own mass and increasing its payload mass, range, service angles and video control systems is revealed.

Keywords

robotic arm, Canadian Space Agency, Canadarm 1, Canadarm 2, Canadarm 3, Dextre, Lunar Gateway, comparative characteristics, space

Received 22.06.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

References

- [1] *Canadarm Shuttle Remote Manipulator System*.
URL: https://www.spacenet.on.ca/data/pdf/canada-in-space/srms_ds.pdf (accessed May 15, 2023).
- [2] Wilks B.B. *Browsing Science Research at the Federal Level in Canada: History, Research Activities and Publications*. Toronto, University of Toronto Press, 2004, 117 p.
- [3] Doetsch K.H., Lindberg G. *Canadarm. The Canadian Encyclopedia*.
URL: <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/canadarm> (accessed May 31, 2021).
- [4] *Case Study: MDA — Canadian Space Arm*.
URL: https://www.adacore.com/uploads/customers/CaseStudy_SpaceArm.pdf (accessed October 15, 2009).
- [5] *Canadarm2's Data Sheet. Canadian Space Agency*. URL: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/canadarm2/data-sheet.asp> (accessed May 08, 2019).
- [6] *Axiom Station Assembly Sequence — Axiom Space Axiom Space*.
URL: <https://www.axiomspace.com/axiom-station/assembly-sequence> (accessed August 09, 2021).
- [7] *A Private Space Station Might Be Born From the ISS — Seeker*.
URL: <https://www.seeker.com/international-space-station-retire-private-axiom-orbit-commercializati-2214242152.html> (accessed September 26, 2021).

- [8] Star M. *Space Debris Has Hit And Damaged The International Space Station*. URL: <https://www.sciencealert.com/space-debris-has-damaged-the-international-space-station> (accessed May 31, 2021).
- [9] *EVA Checklist STS-126 Flight Supplement*, 2008, p. 115, 117, 118. URL: https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/290103main_sts126_eva_checklist.pdf (accessed May 31, 2021).
- [10] *Canadarm, Canadarm2, and Canadarm3 — A Comparative Table*. Canadian Space Agency. URL: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/canadarm2/canadarm-canadarm2-canadarm3-comparative-table.asp> (accessed May 20, 2019).

Aliev N.A. — 11th Grade Student, School no. 11, Member, SUMbuilders Youth Robotic Club, Sumgait, Azerbaijan.

Suleymanov T.V. — Engineer, Teacher, SUMbuilders of Youth Robotic Club, Sumgait, Azerbaijan.

Academic Advisor — Romanova-Bolshakova I.K., Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Aliev N.A., Suleymanov T.V. A brief overview of the Canadarm family robotic manipulators. *Politekhnicheskij molodezhnyy zhurnal*, 2023, no. 06 (83). (In Russ.).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-6-912>