



УДК 629.06

*А.А. Градовцев, А.С. Кондратьев, А.В. Лопота  
Санкт-Петербург, Россия*

## **СРЕДСТВА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

*А.А. Gradovtsev, A.S. Kondratyev, A.V. Lopota  
St.-Petersburg, Russia*

## **ROBOTIC SYSTEMS FOR PROSPECTIVE SPACE INFRASTRUCTURE FUNCTIONS SUPPORT**

Представлены результаты анализа документов, позволяющих сформулировать цели и задачи деятельности в области космической робототехники. Разработаны предложения по составу средств робототехнического обеспечения перспективной космической инфраструктуры. Предложен предварительный прогнозный сценарий создания отечественных средств космической робототехники на основе собственного опыта ЦНИИ РТК в данной области.

КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА. СРЕДСТВА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ. ПЕРСПЕКТИВНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА. ПРОГНОЗ.

The article considers documents that help defining objectives and tasks of space robotics activities. Suggestions for a prospective set of robotic tools for future space infrastructure elements are elaborated. Basing on CNII RTC knowledge and experience, a preliminary prognostic scenario for Russian space robotic systems development is proposed.

SPACE ROBOTICS. ROBOTIC SYSTEMS. PROSPECTIVE SPACE INFRASTRUCTURE. PROGNOSIS.

Мировой опыт создания и применения робототехнических систем космического назначения (РТС КН) показывает, что они являются мощным инструментом в решении задач изучения космического пространства, создания космических аппаратов (КА) и их эксплуатации. Очевидно, что роль космической робототехники будет непрерывно возрастать в связи с необходимостью разработки и обслуживания глобальных систем связи, навигации и наблюдения, постоянно действующих пилотируемых и посещаемых орбитальных станций (ОС), а также баз на Луне и планетах Солнечной системы.

Современная космическая робототехника представляет собой перспективное научно-техническое направление, комплексно охватывающее проектирование, разработку, производство и эксплуатацию РТС КН. Такие системы сегодня активно разрабатываются и используются в международных космических проектах США, Канады, Японии, стран Европейского Союза и России. Современные РТС КН различаются по габаритам, строению, назначению, методам управления.

**Термины и определения.** Введем следующие определения:

*перспективная космическая инфраструктура (ПКИ)* – совокупность средств, функционирующих в космическом пространстве, наземной космической инфраструктуры и ракетно-космической промышленности [1];

*базовый элемент ПКИ* – пилотируемый космический комплекс или составная часть космической системы, выполняющая ряд последовательных функций, обеспечивающих доставку человека в требуемую область космического пространства, его безопасное пребывание (работу) в ней и доставку обратно на Землю (*базовых функций*) [1];

*средства робототехнического обеспечения (СРТО)* – РТС КН, обеспечивающие выполнение функций базовых элементов ПКИ.

**Ожидаемые результаты реализации Стратегии развития космической деятельности России.** основополагающим документом стратегического планирования при организации и осуществлении российской космической деятельности, уточнении действующих и формировании новых федеральных целевых (государственных) программ является Стратегия развития космической деятельности России до 2030 г. и на даль-

нейшую перспективу [2]. В опубликованном проекте Стратегии описаны следующие рубежи ее реализации:

- 2015 г. – рубеж восстановления возможностей;
- 2020 г. – рубеж закрепления возможностей;
- 2030 г. – рубеж прорыва;
- после 2030 г. – развитие прорыва.

Выделим аспекты Стратегии, важные с точки зрения создания и развития СРТО в составе ПКИ.

Достижение *рубежа восстановления возможностей* определяется выполнением действующих на момент принятия Стратегии планов и программ по всем направлениям космической деятельности, в т. ч.:

развертывание необходимых составов орбитальных группировок КА;

создание научно-технического задела для исследования и освоения дальнего космоса.

Достижение *рубежа закрепления возможностей* определяется укреплением России в группе ведущих космических держав по всем основным направлениям космической деятельности, в т. ч.:

создание пилотируемого корабля нового поколения;

выполнение исследований космического пространства, проведение миссий по исследованию Луны;

участие в работах по развертыванию на Марсе сети исследовательских станций, проведению миссий к Венере, в систему Юпитера и к астероидам.

Достижение *рубежа прорыва* определяется постановкой и началом реализации масштабных проектов по использованию ближнего космоса, исследованию и освоению дальнего космоса, в т. ч.:

создание прогрессивных технологий обслуживания, заправки и ремонта КА в околоземном космосе;

разработка средств для контактных исследований и освоения Луны;

участие России в проектах, направленных на снижение засоренности в околоземном космическом пространстве.

*Развитие прорыва* характеризуется практической реализацией масштабных проектов освоения ближнего космоса, Луны и созданием условий для осуществления пилотируемого полета на Марс.

**Состав базовых элементов ПКИ.** С целью реализации мер по организации и осуществлению российской космической деятельности, часть из которых перечислена выше, в настоящее время обсуждается следующий состав базовых элементов ПКИ [1].

1. Перспективный пилотируемый транспортный корабль снабжения (ППТК-С).

2. Перспективный пилотируемый транспортный корабль для орбитальных полетов в автономном режиме на околоземных орбитах (ППТК-З).

3. Перспективный пилотируемый транспортный корабль для полетов на орбиту Луны (ППТК-Л).

4. Международная космическая станция (МКС).

5. Орбитальная станция нового поколения (ОС НП).

6. Межорбитальный буксир (МОБ).

7. Лунная орбитальная станция (ЛОС).

8. Лунный взлетно-посадочный комплекс (ЛВПК).

9. Лунная база (ЛБ).

10. Автоматические КА предварительного исследования объектов Солнечной системы (АКА-П) – беспилотные КА научного назначения, предназначенные для изучения небесных тел и космического пространства и проведения различных экспериментов.

11. Автоматические КА-роботы детального изучения объектов Солнечной системы (АКА-Р) – беспилотные КА научного назначения, предназначенные для детального (контактного) изучения небесных тел (планет, астероидов) и проведения различных экспериментов на их поверхности.

12. Дальняя космическая связь (ДКС).

13. Координатно-временное и навигационное обеспечение нового поколения (КВНО НП).

14. Двигательные установки нового поколения (ДУ НП).

15. Системы жизнеобеспечения нового поколения (СОЖ НП).

16. Системы радиационной защиты (СРЗ).

17. Робототехническое обеспечение нового поколения (РТО НП).

18. Перспективный пилотируемый транспортный корабль для возвращения экипажа с межпланетных траекторий на Землю (ППТК-М).

19. Марсианский взлетно-посадочный комплекс (МВПК).

20. Межпланетный буксир (МПБ).

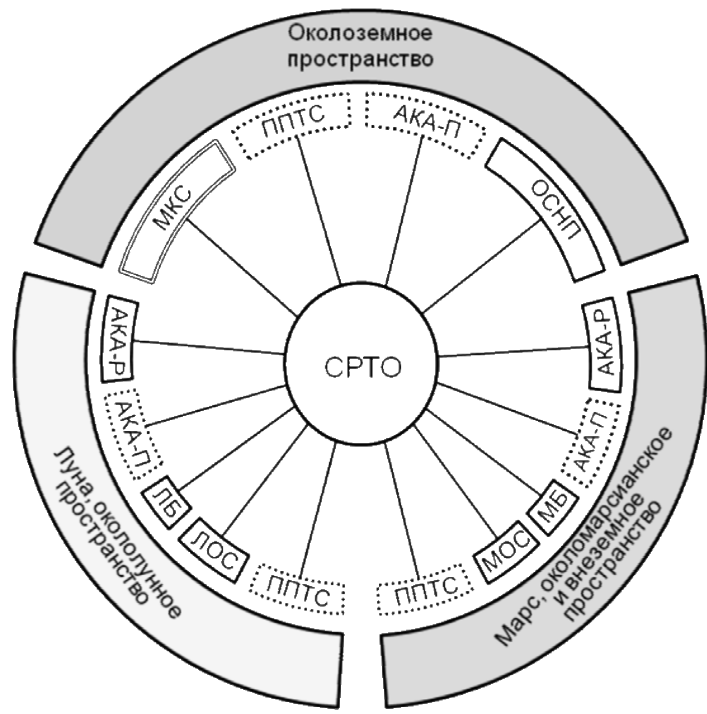
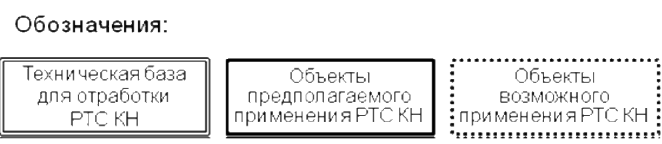


Рис. 1. СРТО в составе ПКИ



21. Марсианская орбитальная станция (МОС).

22. Марсианская база (МБ).

Анализируя данный перечень базовых элементов ПКИ, можно выделить те из них, в состав которых могут входить СРТО: ОСНП; АКА-Р; ЛОС; ЛБ; МОС; МБ.

Кроме того, МКС может и должна использоваться в качестве технической базы для отработки РТС КН и их отдельных элементов.

Применение РТС КН на кораблях перспективной пилотируемой транспортной системы (ППТС) – ППТК-С, ППТК-З, ППТК-Л, ППТК-М – и на АКА-П возможно, но на данный момент состав задач для РТС КН на этих объектах не определен.

На рис. 1 схематично изображены перечисленные объекты с обозначением их привязки по областям применения.

**Состав СРТО для ПКИ.** Сформулируем задачи, которые могут решать РТС КН в составе указанных выше базовых элементов ПКИ.

1. Работы на внешней поверхности КА:
  - инспекция, контроль состояния аппаратуры и систем КА;
  - установка, демонтаж и обслуживание аппаратуры и систем КА;
  - погрузка-разгрузка шлюзовых камер;
  - сборка крупногабаритных конструкций, монтажно-демонтажные работы;
  - безударная стыковка и перестыковка КА и модулей на ОС;
  - парирование нештатных ситуаций, ремонтно-восстановительные работы;
  - помощь космонавтам при осуществлении внекорабельной деятельности (ВнеКД).
2. Работы с кооперируемыми и некооперируемыми космическими объектами:
  - обслуживание (в т. ч. дозаправка и ремонт) КА, находящихся на орбите;
  - увод с орбиты «космического мусора».
3. Деятельность на планетах Солнечной системы и астероидах:
  - решение исследовательских задач;

строительство и обслуживание напланетных баз.

В ЦНИИ РТК обоснован и предложен следующий состав РТС КН, способных решать весь комплекс перечисленных задач:

- 1) транспортно-манипуляционная система (ТМС);
- 2) манипуляционные системы различного назначения;
- 3) напланетные робототехнические средства;
- 4) специализированные РТС КН.

*Транспортно-манипуляционная система* (рис. 2 а) – это многофункциональное мобильное робототехническое средство, способное решать широкий спектр задач, связанных с транспортировкой полезного груза и выполнением манипу-

ляционных операций на внешней поверхности КА. Общие принципы построения и функционирования ТМС описаны в [3, 4].

ТМС способна выполнять следующие задачи: инспекцию, контроль состояния аппаратуры и систем КА;

установку, демонтаж и обслуживание аппаратуры и систем КА;

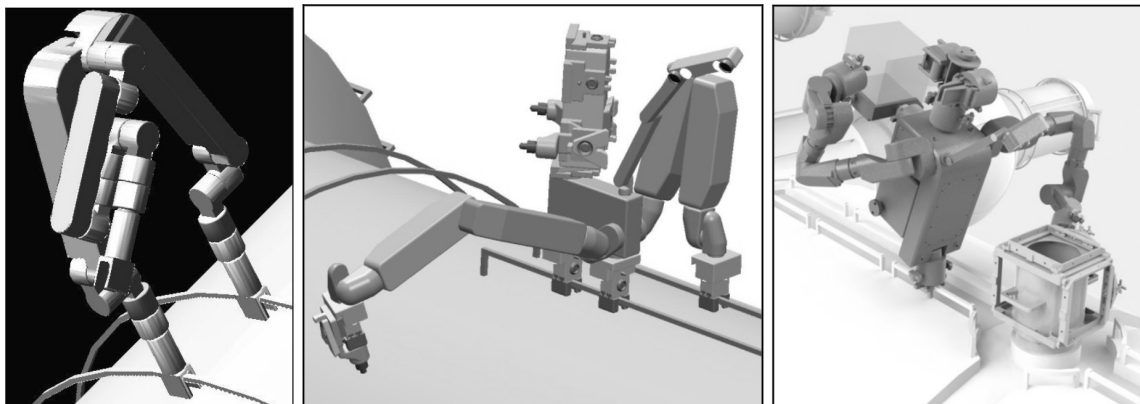
погрузку-разгрузку шлюзовых камер, транспортировку полезного груза по внешней поверхности КА;

сборку конструкций, монтажно-демонтажные работы;

ремонтно-восстановительные работы;

помощь космонавтам при осуществлении ВнеКД.

а)



б)



Рис. 2. СРТО для ПКИ:  
а – ТМС (варианты); б – манипуляционные системы (размерный ряд)



*Манипуляционные системы* (рис. 2 б), такие, как, например, Canadarm, Canadarm2, – наиболее традиционные РТС КН. Как и ТМС, они являются многофункциональными РТС КН, однако могут применяться лишь для решения отдельных задач, связанных в первую очередь с манипулированием грузами большой массы.

Манипуляционные системы способны выполнять следующие задачи:

- погрузку-разгрузку шлюзовых камер;
- захват, стыковку и перестыковку КА и модулей ОС;
- инспекцию (в пределах зоны досягаемости);
- помощь космонавтам при ВнеКД (в пределах зоны досягаемости);
- работу в составе пилотируемых и беспилотных сервисных КА (обслуживание КА на орбите, увод с орбиты «космического мусора»).

Имеет смысл отдельно остановиться на последней из упомянутых задач. В настоящее время в мире наблюдается повышенный интерес к данной теме, о чем свидетельствует, в частности, большое количество проектов, посвященных созданию и отработке сервисных КА и их манипуляционных систем с целью:

- ремонта КА различного назначения, а также их частичной модернизации на орбите для продления ресурса;
- дозаправки КА и замены расходных материалов;
- увода с орбиты «космического мусора».

В качестве примеров можно назвать космические эксперименты ETS-VII [5], Orbital Express [6], проект SUMO/FREND [7], работы по созданию манипуляторов Canadarm нового поколения [8] и целый ряд других проектов. В целом можно констатировать, что проблема создания сервисных КА (например, на базе упомянутых выше АКА-Р) и их СРТО является актуальной и перспективной.

*Специализированные РТС КН* предназначены для решения узкоспециализированных задач, которые с их помощью могут быть решены более эффективно, чем с использованием многофункциональных РТС КН. К таким задачам можно отнести:

- ориентирование антенн (например, в системах сближения и стыковки КА, системах связи и пр.);
- перестыковку ранее пристыкованных КА и модулей на ОС;

облегчение работы космонавтов при ВнеКД за счет использования скафандра-экзоскелета (т. е. скафандра, конструктивно совмещенного с манипуляторами-экзоскелетами, увеличивающими мышечные усилия космонавта) и т. д.

*Напланетные робототехнические средства* предназначены для функционирования на планетах Солнечной системы (Луна, Марс) и астероидах для выполнения следующих задач:

- проведения исследований планет и астероидов;
- строительства, модернизации, обслуживания и ремонта напланетных баз и сооружений.

Примерами ранее созданных напланетных робототехнических средств являются советские аппараты Луноход-1 и Луноход-2, американские марсоходы Spirit и Opportunity [9].

Приведенные выше данные сведены в таблицу. В ней также дана оценка предполагаемого объема задач, выполняемых каждым видом РТС КН, относительно общего количества задач, существующих в соответствующих направлениях.

**Сценарий создания СРТО в составе ПККИ.** В ЦНИИ РТК по заданию Центрального научно-исследовательского института машиностроения выполняется разработка прогнозного сценария («дорожной карты») создания отечественных СРТО функций базовых элементов ПККИ. В ходе данной работы должны быть решены следующие задачи:

- определение потребностей в СРТО, а также состава СРТО при развертывании, эксплуатации и обслуживании элементов ПККИ;
- определение интеллектуальных и материальных ресурсов, требуемых для разработки СРТО;
- определение требуемых временных ресурсов, последовательности и сроков создания СРТО;
- определение предварительных тактико-технических характеристик СРТО;
- оформление наглядной формы представления («дорожной карты») сценария создания СРТО.

На рис. 3 показана графическая схема, отражающая предложение ЦНИИ РТК о возможном сценарии создания отечественных СРТО. Данная схема представляет собой развертку по годам (с 2010 по 2050 гг.), иллюстрирующую прогноз по научно-исследовательским (НИР) и опытно-конструкторским (ОКР) работам, которые требуется провести для создания СРТО, в соответствии с предложенным выше составом РТС КН. Приведены как уже выполняемые работы по созданию



**Виды РТС КН и выполняемые ими задачи**

| Виды РТС КН   | ТМС  | Манипуляционные системы  | Специализированные РТС КН   | Напланетные РТС КН                                   |
|---|--|--|---|--|
| Работы на внешней поверхности КА                                  | Инспекция<br>Обслуживание аппаратуры<br>Обслуживание шлюзовых камер<br>Монтажно-демонтажные работы<br>Ремонтно-восстановительные работы<br>Обеспечение ВнеКД | Обслуживание шлюзовых камер<br>Стыковка и перестыковка КА и модулей ОС<br>Инспекция<br>Обеспечение ВнеКД | Специализированные задачи (перестыковка, ориентирование антенн и пр.) |  |
| Работы с кооперируемыми и некооперируемыми космическими объектами |  | Ремонт и модернизация КА<br>Дозаправка КА<br>Увод с орбиты «космического мусора»                         | Специализированные задачи   |  |
| Деятельность на планетах Солнечной системы и астероидах           |  |  | Специализированные задачи   | Исследования<br>Строительство напланетных сооружений |
| Обозначения   |  |  |   |  |
| Оценка объема выполняемых задач                                   | Большой объем задач  | Отдельные задачи   | Задачи отсутствуют  |  |

РТС КН и их компонентов, так и предлагаемые для выполнения. Показаны обобщенные названия НИР и ОКР, каждая из которых может потребовать выполнения связанных составных частей работ или отдельных работ. Все работы поделены на этапы, согласующиеся с порядком создания, производства и эксплуатации космических комплексов, предписанным Положением РК-98-КТ.

На схеме видно, что основной упор (за счет объемов работ) сделан на отработке компонентов и технологий создания РТС КН. Полученные результаты затем должны использоваться во всех последующих работах, в т. ч. для создания конкретных видов СРТО.

Примером уже выполняемой в ЦНИИ РТК работы является ОКР «Роботрон-РТК» (2010–2012 гг.), цель которой – создание функциональных модулей (шарниров и захватных устройств) для использования в будущем при построении робототехнических систем различного, в первую очередь космического назначения. Развивая эту работу, в ЦНИИ РТК начата ОКР

«Захват-Э» по созданию научной аппаратуры для космического эксперимента «Захват-Э». Цель эксперимента – создание унифицированных мехатронных модулей для РТС КН и отработка их функционирования в составе специализированной манипуляционной системы на наружной поверхности российского сегмента МКС.

На схеме не обозначены работы, заведомо не обладающие научной новизной или существенной практической значимостью. В частности, работы по созданию специализированных технических устройств постоянно проводятся во многих отечественных организациях, включая ЦНИИ РТК. Поскольку потребность в таких устройствах будет возникать постоянно на основе текущих оперативных задач, планировать эту потребность практически невозможно и бессмысленно. Из перспективных работ по этому направлению можно выделить разработку скафандра-экзоскелета, а также манипулятора-перестыковщика, применение которого позволит воплотить планы по созданию реконфигурируемых ОС.

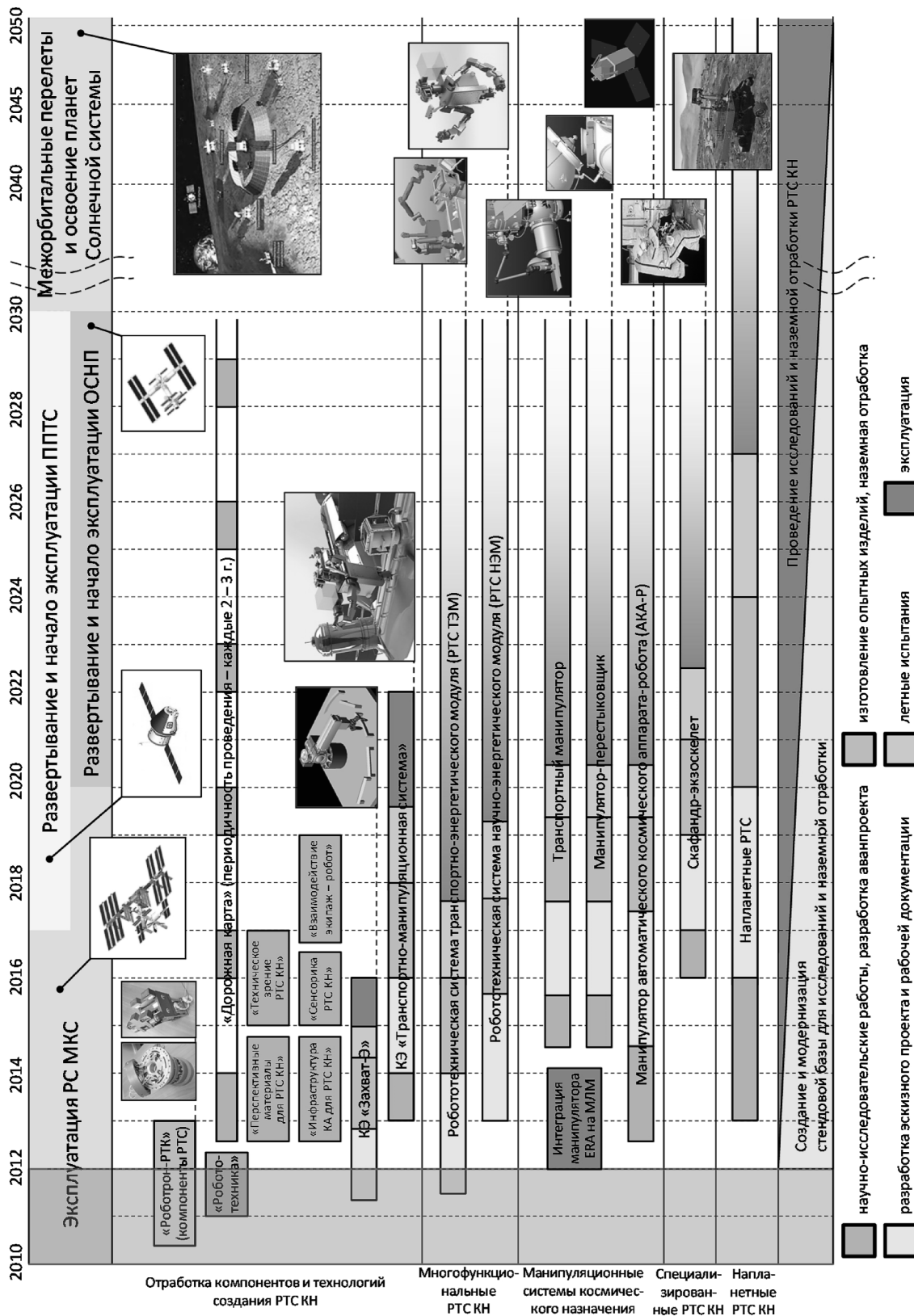


Рис. 3. Сценарий создания СРТО в составе ПККИ

В нижней части схемы условно показаны работы, которые требуется регулярно проводить для создания и поддержания на современном уровне стендовой базы для исследований и наземной отработки РТС КН.

В ЦНИИ РТК проводится разработка прогнозного сценария («дорожной карты») создания отечественных СРТО функций базовых элементов

ПКИ. В ходе работ проанализированы основополагающие документы, позволяющие определить задачи СРТО, сформулированы предложения по составу СРТО для ПКИ. Предлагаемый прогнозный сценарий выполнен в виде графической схемы, иллюстрирующей состав и взаимосвязь НИР и ОКР, которые требуется провести для создания СРТО, с привязкой этих работ по годам (с 2010 по 2050 гг.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы и направления решения задач по развитию перспективных космических средств для дальнейшего исследования и освоения космического пространства [Текст] / Системный проект. –ЦНИИмаш.
2. Проект Стратегии развития космической деятельности России до 2030 г. и на дальнейшую перспективу [Текст].
3. **Лопота, В.А.** Транспортно-манипуляционная система для обслуживания Международной космической станции и поддержки внекорабельной деятельности космонавтов [Текст] / В.А. Лопота, А.М. Потапов, А.А. Градовцев, А.И. Каргов, И.Ю. Даляев // Мехатроника, автоматизация, управление. –М.: Изд-во «Новые технологии», 2011. –№ 2. –С. 6–16.
4. **Градовцев, А.А.** Робототехническое обеспечение для объектов перспективной космической инфраструктуры [Текст] / А.А. Градовцев, А.С. Кондратьев, А.Н. Тимофеев // Экстремальная робототехника: Труды Междунар. науч.-технич. конф. 23–25 ноября 2011. –СПб., 2011.
5. Engineering Test Satellite VII «KIKU-7» (ETS-VII) [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.jaxa.jp/projects/sat/ets7/index\\_e.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/ets7/index_e.html)
6. **Orbital Express** [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://archive.darpa.mil/orbitalexpress/index.html>
7. FRENED: Pushing the Envelope of Space Robotics [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.nrl.navy.mil/content\\_images/08Space\\_Kelm.pdf](http://www.nrl.navy.mil/content_images/08Space_Kelm.pdf)
8. The Next-Generation Canadarm: Building on an Icon [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/canadarm/ngc.asp>
9. Mars Exploration Rover Mission: Home [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/home/index.html>