

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК 629.78.007

ВНЕКОРАБЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА КИТАЙСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ: ОБОРУДОВАНИЕ, УСТРОЙСТВА, ИНСТРУМЕНТЫ

А.А. Алтунин, Д.И. Верба, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной

А.А. Алтунин; Д.И. Верба; канд. техн. наук, с.н.с. Е.Ю. Иродов;
канд. техн. наук, с.н.с. В.С. Коренной
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена анализу состава и функциональных возможностей оборудования комплекса технических средств обеспечения внекорабельной деятельности (ВКД) на Китайской космической станции (ККС). Представлен обзор конструкции основного инструментария и устройств, а также вспомогательных систем на внешней поверхности станции, включая средства освещения и видеоконтроля.

Ключевые слова: Китайская космическая станция, открытый космос, внекорабельная деятельность, скафандр, робототехнические манипуляторы, оборудование для внекорабельной деятельности

Extravehicular Activity on the China Space Station: Equipment, Devices and Tools. A.A. Altunin, D.I. Verba, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy

The article is dedicated to analyzing the configuration and functional capabilities of extravehicular activity (EVA) facilities on the China Space Station (CSS). It presents an overview of the design of the primary instrumentation, devices and auxiliary systems on the station's exterior, including lighting and video monitoring equipment.

Keywords: china space station, open space, extravehicular activity, spacesuit, robotic arms, extravehicular activity equipment

КНР осуществила развертывание национальной орбитальной станции в период с апреля 2021 г. по октябрь 2022 г. В настоящее время ККС имеет Т-образную конфигурацию и состоит из трех сегментов: базового модуля (БМ) «Тяньхэ» и двух экспериментальных модулей (ЭМ) – «Вэньтянь» и «Мэнтянь» [1]. ВКД на ККС является ключевым и технически сложным этапом реализации пилотируемой программы КНР, а также критически важной технологией для обеспечения безопасности, надежности и долгосрочного

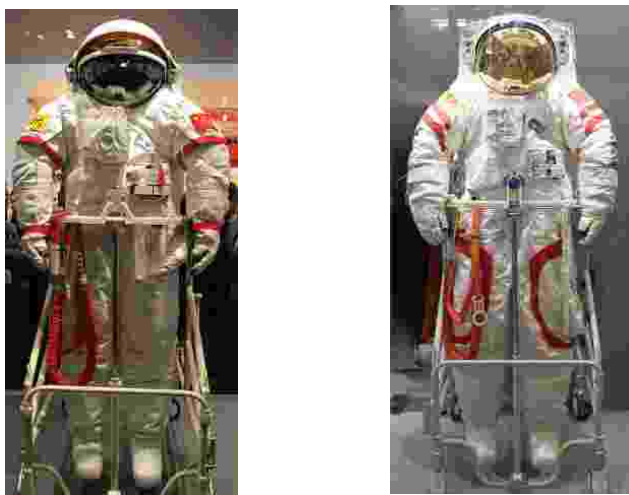
функционирования станции [2]. На ККС сформирован и успешно эксплуатируется комплекс технических средств обеспечения ВКД, создающий необходимые условия для работы экипажа за пределами станции, включающий: шлюзовые отсеки, скафандры, робототехнические манипуляторы, специализированный инструментарий, а также системы освещения и видеоконтроля [3–5]. По состоянию на май 2026 г. в ходе развертывания и эксплуатации станции китайские космонавты выполнили 26 выходов в открытый космос (ОК), обеспечив монтаж оборудования, дооснащение, ремонт и техническое обслуживание систем ККС [6, 7].

Целью данной статьи является анализ состава и функциональных возможностей основных элементов комплекса технических средств обеспечения ВКД на ККС. Китайский опыт создания и применения инновационных технических решений, защищенных патентами, представляет особый интерес для сопоставления с текущим состоянием аналогичных отечественных систем и является актуальным при верификации разрабатываемых перспективных проектов.

В статье используется авторская адаптация наименований китайского оборудования, устройств и инструмента, приведенная в соответствие с терминологией, принятой в отечественной космонавтике.

Скафандры «Фэйтянь»

Скафандры (СК) для ВКД «Фэйтянь» созданы на основе российских СК «Орлан-М», поставленных КНР в 2004 г. Первый китайский выход в ОК выполнен 27.09.2008 в СК «Фэйтянь-1» (рис. 1, а). С 2021 г. эксплуатируется второе поколение СК – «Фэйтянь-2» (рис. 1, б).



а б
Рис. 1. Скафандр для ВКД «Фэйтянь»:
а – «Фэйтянь-1»; б – «Фэйтянь-2»

СК «Фэйтянь» [8] имеют антропоморфную полужесткую герметичную конструкцию (кираса – жесткая конструкция, оболочки рук и ног – мягкие). Вход космонавта в скафандр осуществляется через люк в задней части кирасы. В СК используется замкнутая нерегенеративная система кондиционирования и жизнеобеспечения, работающая от кислородных баллонов высокого давления – 40 кПа. Для достижения активной тепловой защиты в СК используется технология сублимации воды. Система телеметрии и управления передает технические параметры СК, физиологические параметры космонавтов и голосовые сигналы по проводному или беспроводному каналам. Электроэнергия в скафандр может подаваться от шлюзового отсека ККС по кабелю или автономно от аккумулятора. Основные параметры СК «Фэйтянь» представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры СК «Фэйтянь-1» и «Фэйтянь-2»

Параметр	Фэйтянь-1	Фэйтянь-2
Рабочее давление, кПа	40	40
Масса, кг	120	130
Время работы в ОК, ч	≥ 4	≥ 8
Коэффициент надежности	0,997	0,997
Ресурс, применений	$\geq 5^*$	$\geq 20^{**}$
Скорость утечки газа, л/мин	≤ 2	≤ 2
Время аварийной подачи O_2 , мин	≥ 30	≥ 30
Среднее тепловыделение, Вт	300	300
Температурная стойкость, °C	± 110	± 110
Давление разрыва, кПа	120	120
Рост космонавта, см	165–175	160–180

* – за 2 года, ** – за 4 года.

Модельный ряд СК «Фэйтянь-2» был разработан в рамках программы обеспечения долговременной деятельности на ККС. Всего на станцию доставлено шесть комплектов СК «Фэйтянь-2». В 2021 г. – модели А (красный), В (синий) и С (желтый); в 2025 г. – D (красный) и E (синий); в 2026 г. – F (желтый). В скобках указан цвет идентификационных полос на СК.

В табл. 2 и на рис. 2 систематизированы фактические данные по эксплуатации СК «Фэйтянь-2», задействованных на ККС в период с мая 2021 г. по май 2026 г.

Таблица 2

Показатели эксплуатации и ресурсное состояние СК «Фэйтянь-2»

Модель СК	Дата доставки на ККС	Ресурс, выход в ОК (количество)		Время работы в ОК (ч:мин)		Количество операторов СК (чел)
		Заданный (не менее)	Достигнутый	Заданное (не менее)	Достигнутое	
1	2	3	4	5	6	7
А (красный)	29.05.2021	15	19	8:00	9:06	9
В (синий)	29.05.2021	15	20	8:00	9:06	10
С (желтый)	20.09.2021	15	7	8:00	7:55	6
Д (красный)	15.07.2025	20	3	8:00	8:18	1
Е (синий)	15.07.2025	20	3	8:00	8:18	1
Ф (желтый)	11.05.2026	20	не исп.	8:00	не исп.	не исп.

Примечание. В столбце 7 указано число космонавтов, использовавших данный СК, при этом один и тот же оператор мог выполнять в нем несколько выходов в ОК.

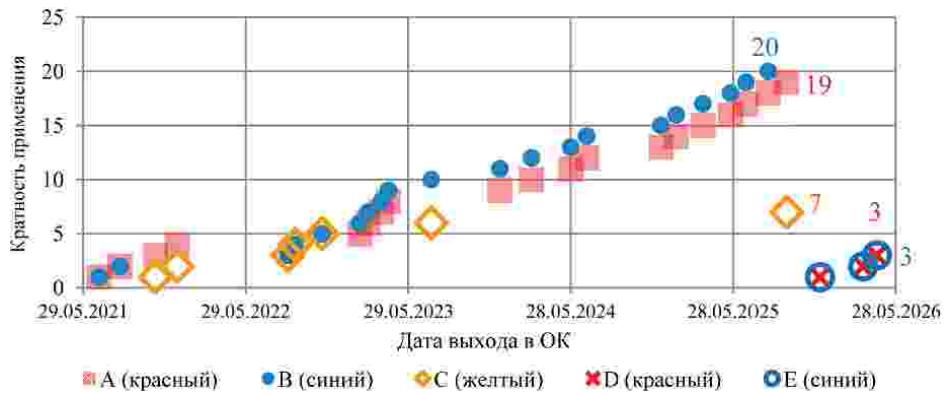


Рис. 2. Динамика применения СК «Фэйтянь-2»

Модификация СК (модели А, В и С) обеспечила автономность работы в ОК до 8 ч при заданном ресурсе не менее 15 применений за 3 года. В их конструкцию внедрены системы адаптивной регулировки под рост операторов от 160 до 180 см, модернизированный дисплей пульта управления и нашлемные видеокамеры с прожекторами. Модель С дополнительно оптимизирована для космонавтов с меньшими массогабаритными характеристиками за счет модернизации оболочек нижних конечностей. В декабре 2024 г. в ходе ВКД экипажа «Шэньчжоу-19» зафиксировано рекордное время работы в ОК – 9 ч 06 мин. К сентябрю 2025 г. (четвертый выход экипажа «Шэньчжоу-20») орбитальный срок эксплуатации первых трех моделей превысил 4 года, а наработка моделей В и А достигла 20 и 19 выходов соответственно. В январе 2026 г. спускаемый аппарат беспилотного корабля «Шэньчжоу-20» доставил СК с индексом В на Землю для экспертизы.

Модернизированные модели D, E и F получили заданный ресурс не менее 20 применений за 4 года. Для повышения ремонтпригодности их системы переведены на блочно-модульную архитектуру с быстросъемными функциональными блоками для возможности обслуживания на борту станции. Применение модернизированных гермоподшипников в шарнирах снизило сопротивление оболочки и облегчило движения космонавтов. Также изменены геометрия шлема для оптимизации подвода питьевой трубки и нательный контур жидкостного охлаждения для эффективного съема метаболического тепла. Обновленный съемный модуль видеокамеры (1080 p) на базе асферических объективов, китайских матриц и энергоэффективных чипов компрессии минимизировал массу, габариты и энергопотребление устройства, обеспечив его непрерывную работу более 8 ч.

Система манипуляторов

Система манипуляторов Китайской космической станции (СМККС) предназначена для автоматизации внешних работ. Входящие в ее состав робототехнические манипуляторы обеспечивают перемещение тяжелых грузов и модулей, обслуживание и ремонт оборудования на внешней поверхности станции, монтаж оборудования, а также поддержку космонавтов во время ВКД.

СМККС включает следующие узлы: манипулятор базового модуля «Тяньхэ» (МБМ), манипулятор экспериментального модуля «Вэньтянь» (МЭМ) и пост управления (ПУ) системой манипуляторов, расположенный внутри базового модуля ККС [9, 10] (рис. 3).

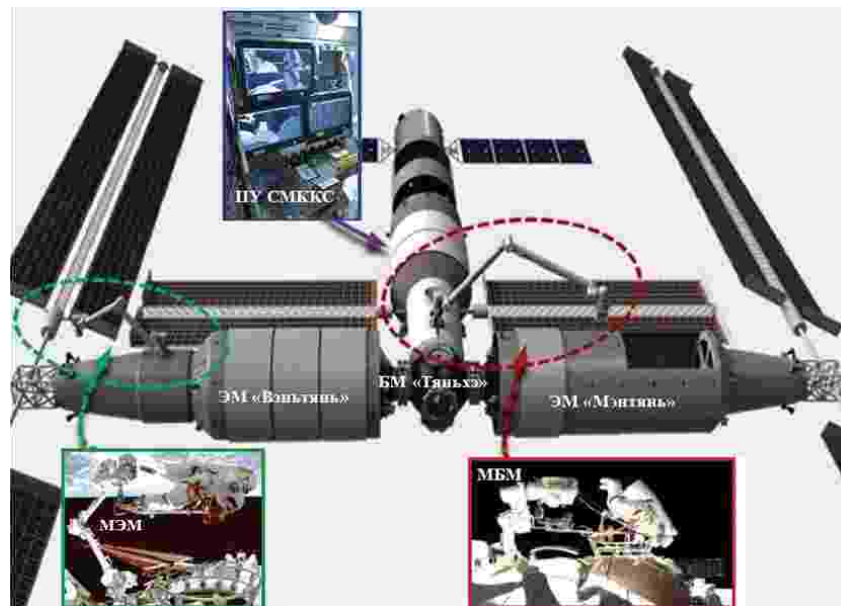


Рис. 3. Размещение манипуляторов на ККС

МБМ длиной 10,37 м рассчитан на перемещение груза массой до 25 000 кг. Максимальные линейная и угловая скорости концевых эффекторов под нагрузкой составляют 0,02 м/с и 0,15 °/с соответственно, тогда как без нагрузки их значения могут достигать 0,3 м/с и 3 °/с.

МЭМ длиной 5,6 м рассчитан на перемещение грузов массой до 3000 кг. Линейная и угловая скорости концевых эффекторов под нагрузкой составляют 0,03 м/с и 0,15 °/с соответственно, тогда как без нагрузки их значения могут достигать 0,2 м/с и 3 °/с. МЭМ может работать как автономно с опорной точкой на станции (целевым адаптером), так и последовательно соединенным с МБМ через соединительный адаптер, образуя единую систему для совместной работы, тем самым расширяя радиус действия до 15 м.

МБМ (рис. 4) представляет собой симметричную конструкцию с семью степенями свободы. В состав МБМ входят семь шарнирных узлов – три запястных (4, 6, 7), один локтевой (12) и три плечевых (14, 19, 20); две углепластиковые секции (8, 13) и два концевых эффектора (1, 16), оснащенных шестикомпонентными датчиками силы и момента (3, 15). Для расширения рабочей зоны манипулятора между шарнирами плеча (14, 19) и запястья (4, 6) установлены соответствующие удлинители сочленений (5, 18). Система управления базируется на центральном контроллере (9) в локтевом узле, а оборудование визуального наблюдения и измерений включает в себя коммутатор Ethernet (10), две бинокулярные видеокамеры (2, 17) на концевых эффекторах и одну монокулярную видеокамеру (11) на поворотном приводе локтевого узла. Аналогичную структуру и принципы управления имеет МЭМ.

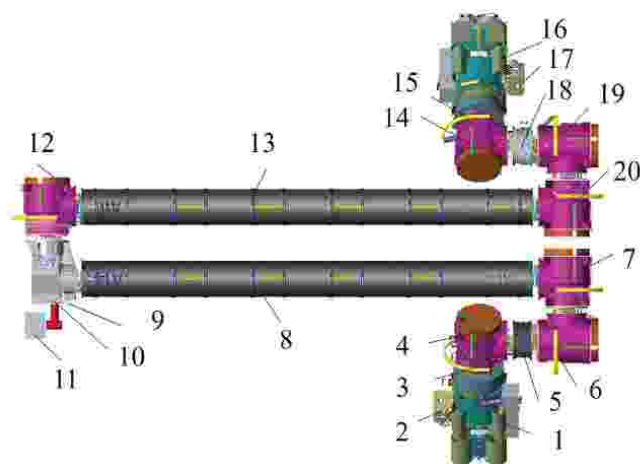


Рис. 4. Схема МБМ

ПУ СМККС состоит из панели управления, рукояток управления с поступательной и вращательной силовой обратной связью, трех мониторов с сенсорными ЖК-экранами и двух ноутбуков для виртуального 3D-моделирования. ПУ используется космонавтами для управления МБМ и МЭМ,

а также для подготовки космонавтов на орбите перед применением манипуляторов [10].

Для перемещения манипуляторов по внешней поверхности ККС на ее модулях установлены целевые адаптеры. Они оснащены стандартными интерфейсами для механической стыковки, передачи электроэнергии и данных, а также служат узлами захвата для концевых эффекторов.

Устройства и инструменты для ВКД

Основными устройствами и инструментами, которые используют космонавты при выполнении задач ВКД на ККС, являются [5, 11]:

- монтажное основание;
- переносной шарнирный фиксатор ног;
- переносное рабочее место;
- внешняя инструментальная панель;
- мобильный поручень;
- электроинструмент;
- рабочая станция;
- универсальная рукоятка;
- ключ-трещотка.

Монтажное основание (МО) предназначено для надежной фиксации и быстрой смены оборудования (инструмента) в условиях работы в ОК, обеспечивая стабильное осевое положение объекта в корпусе основания за счет системы зажимных канавок и радиальных сквозных отверстий.

Конструкция МО (рис. 5), основанная на технических решениях патента CN113968363, выполнена в виде двухступенчатого корпуса, включающего верхнюю колонну (2) с осевым отверстием (6), зажимными пазами (3) и отверстиями для фиксации инструмента (4, 5), а также нижнюю колонну (1) с крепежным фланцем (9), в котором выполнены крепежные отверстия (8).

Полные описания этого и других патентов, приведенных в статье, доступны в открытых патентных базах данных, включая ресурс Google Patents [12].

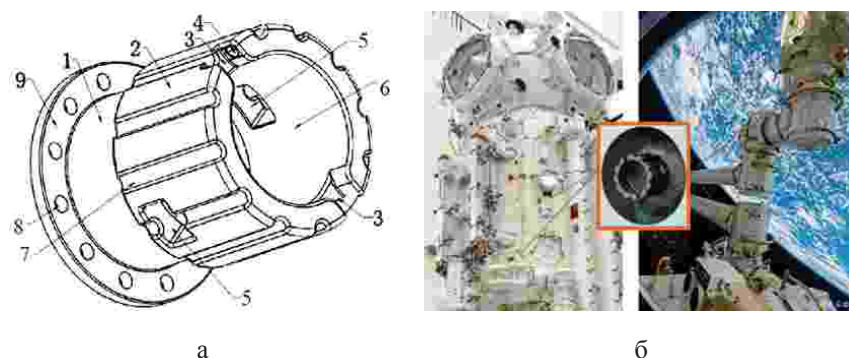


Рис. 5. Монтажное основание:

а – схема устройства; б – размещение на БМ и МБМ

Такая компоновка позволяет исключить самопроизвольное отсоединение или «всплывание» оборудования до момента его окончательной фиксации благодаря взаимодействию выступающих элементов и пружинных фиксаторов устанавливаемого оборудования с пазами и отверстиями корпуса монтажного основания. Простота механизмов гарантирует высокую скорость монтажных работ и удобство эксплуатации в сложных условиях ВКД.

Переносной шарнирный фиксатор ног (ПШФН) предназначен для создания стабильной опорной платформы для космонавта при работе в ОК. ПШФН фиксирует ботинки скафандра, позволяя космонавту контролировать положение тела и освобождая обе руки для выполнения операций ВКД [5, 11].

Конструкция ПШФН (рис. 6), основанная на технических решениях патента CN104176278, включает следующие элементы: узел быстроразъемного крепления (1), предохранительный механизм (2), механизмы регулировки тангажа (3), крена (5), рыскания (6), стыковочный порт для установки дополнительного оборудования (4) и опорную пластину (7).

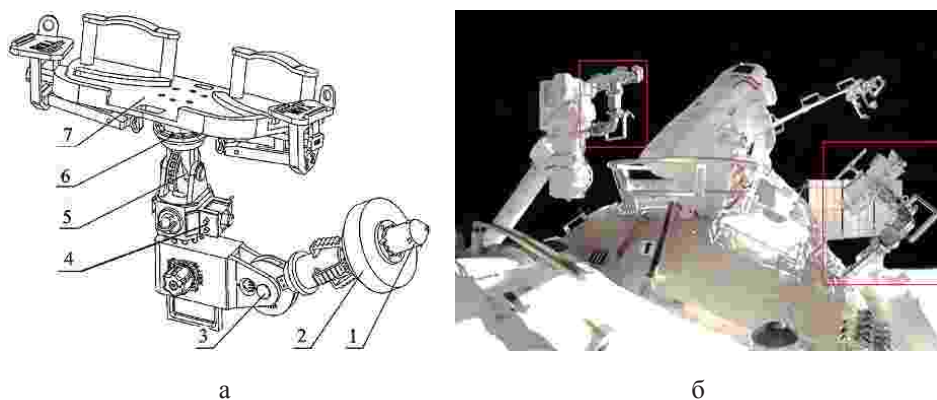


Рис. 6. Переносной шарнирный фиксатор ног:

а – схема устройства; *б* – пример установки на манипуляторе и инструментальной панели

Установка ПШФН осуществляется в МО, расположенные на внешней поверхности модулей ККС и манипуляторах. Регулировка по рысканию и крену выполняется космонавтом непосредственно в процессе работы, тогда как тангаж и установочный угол (в монтажном основании) фиксируются предварительно до начала выполнения целевых операций ВКД. В перерывах между ВКД ПШФН устанавливаются для хранения на внешние инструментальные панели.

Переносное рабочее место (ПРМ) предназначено для закрепления инструментов и оборудования при транспортировке космонавта манипулятором к месту проведения работ, а также обеспечения эргономичной рабочей зоны и, при необходимости, дополнительной опоры для рук при проведении ВКД [5, 11].

Конструкция ПРМ (рис. 7), основанная на технических решениях патента CN113800010, состоит из инструментального и опорного узлов. Инструментальный узел включает раму (8), которая через колонну (5) со стыковочным штырем (1) съемно соединена с механизмом фиксации (3) опорного узла. На центральной части рамы (8) размещены универсальные интерфейсы (7) для крепления стандартных рабочих инструментов, а по обеим сторонам – несущие элементы (6) для крепления нестандартного оборудования. Опорный узел включает опорный (2) и соединительный (4) стержни. Соединительный стержень является съемным элементом и расположен между колонной инструментального узла и опорным стержнем. Стыковочный штырь (1) опорного стержня (2) служит элементом сопряжения с ПШФН через стыковочный порт (рис. 6, поз. 4).

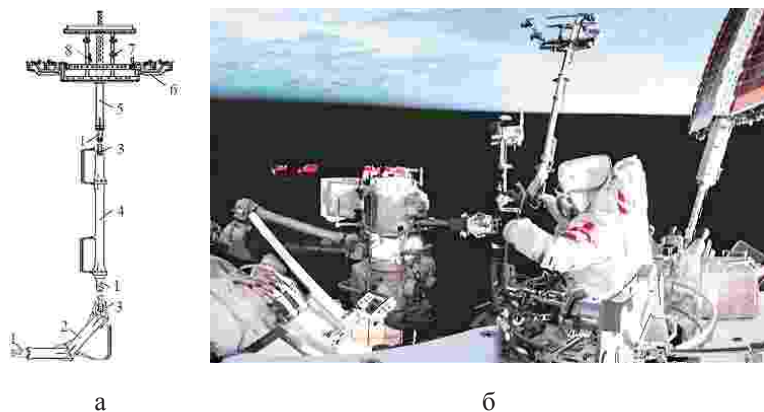


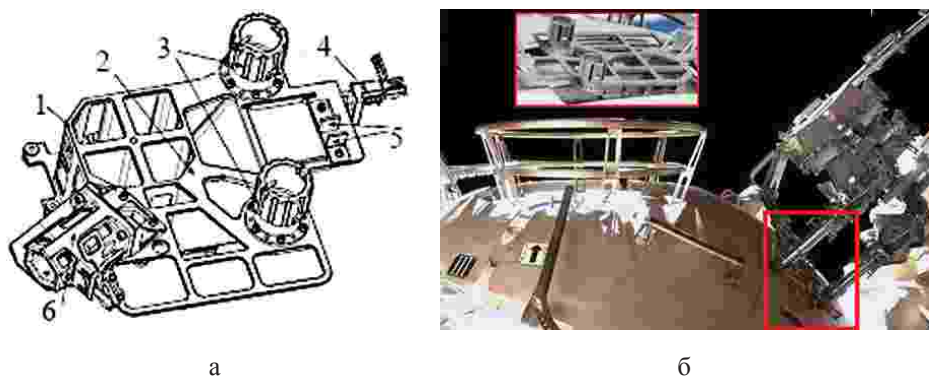
Рис. 7. Переносное рабочее место:

а – схема устройства; *б* – пример установки ПРМ космонавтом

Использование ПРМ на манипуляторе обеспечивает безопасную и комфортную доставку космонавтов к удаленным объектам и упрощает доступ к инструментам. Универсальные интерфейсы и специальные несущие элементы позволяют безопасно перемещать широкий спектр оборудования. Это снижает физическую нагрузку на космонавта, обеспечивая удобную фиксацию и повышая безопасность выполнения операций ВКД.

Внешняя инструментальная панель (ВИП) предназначена для штатного хранения ПШФН, ПРМ и внешней рукоятки открытия выходного люка в периоды между циклами ВКД.

Конструкция ВИП (рис. 8), основанная на технических решениях патента CN113928596, включает следующие элементы: крепежный кронштейн (1) с монтажной поверхностью (2), на которой размещены монтажные основания (3) для закрепления ПШФН; упор с механизмом фиксации (4) и опорными пластинами (5) для закрепления рукоятки открытия выходного люка; монтажный узел (6) с механизмом фиксации для закрепления переносного рабочего места.



а

б

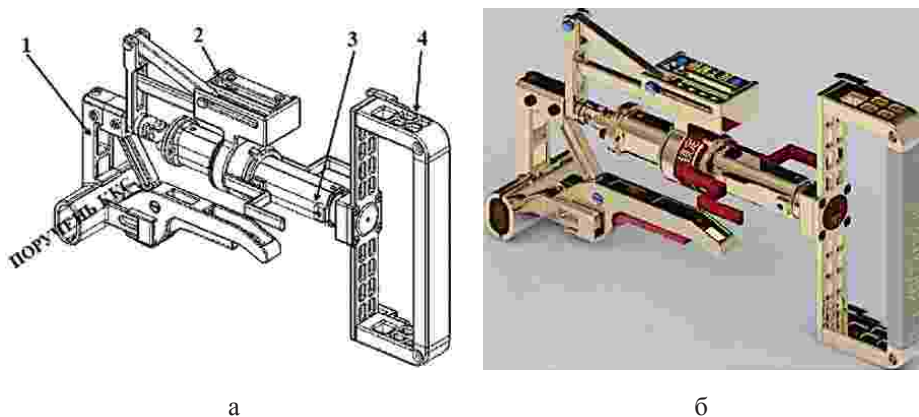
Рис. 8. Внешняя инструментальная панель:

а – схема устройства; б – размещение на узловом отсеке БМ «Тяньхэ»

Две таких панели установлены в непосредственной близости от выходных люков модулей «Тяньхэ» и «Вэньтянь». Их простая и надежная конструкция позволяет хранить оборудование для ВКД непосредственно на внешней поверхности станции. Такое решение исключает необходимость трудоемкого выноса оборудования из шлюзовых отсеков перед каждым выходом, обеспечивает оперативный доступ к оборудованию и значительно повышает общую эффективность работы космонавтов в ОК.

Мобильный поручень (МП) предназначен для создания универсальной точки опоры на внешней поверхности ККС и компенсации габаритных ограничений стационарных поручней [11, 13].

Конструкция МП (рис. 9), основанная на технических решениях патента CN114056604, включает следующие элементы: зажимной механизм (1) для жесткой стыковки со стационарными поручнями ККС; механизмы регулировки угла установки (2) и длины (3) для адаптации к сложной топологии объектов, рукоятку (4) для удобной работы космонавта в скафандре.



а

б

Рис. 9. Мобильный поручень:

а – схема устройства; б – внешний вид

Использование МП позволяет трансформировать ограниченную стационарную инфраструктуру в оптимальную рабочую среду, обеспечивая надежную фиксацию космонавтов при установке и обслуживании оборудования со сложной геометрией. Благодаря возможности точной настройки угла установки и длины под конкретную задачу МП улучшает эргономику, безопасность и эффективность монтажно-демонтажных работ в условиях ОК.

Электроинструмент (ЭИ) предназначен для монтажа, демонтажа и контроля резьбовых соединений при проведении монтажных и ремонтно-восстановительных работ в ходе ВКД на ККС [5, 11].

Конструкция ЭИ (рис. 10), основанная на технических решениях патента CN113787492, включает корпус (1) с аккумуляторным отсеком (10) и переходник (2). Внутри корпуса расположены моторный узел (3), состоящий из электродвигателя и редуктора, а также система управления (6). На корпусе размещены переключатель направления вращения (5), панель индикаторов (4), кнопка пуск/стоп (7). В аккумуляторном отсеке расположена литиевая батарея (8), а снаружи – выключатель питания (9) и страховочное кольцо (11).

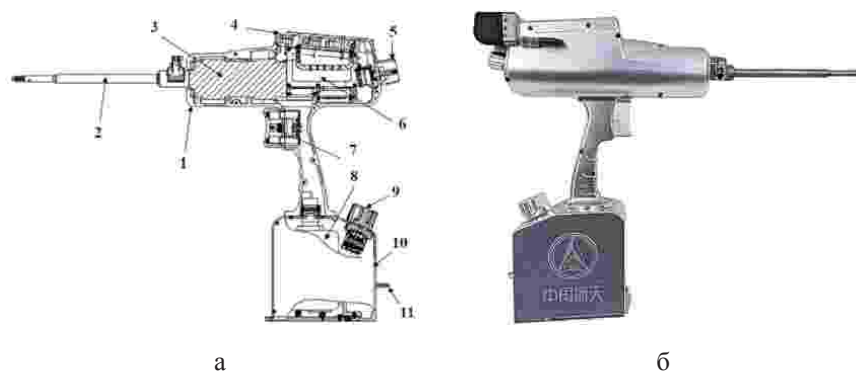


Рис. 10. Электроинструмент:
а – схема устройства; б – внешний вид

Использование ЭИ позволяет повысить эффективность работы космонавтов в ОК: инструмент существенно снижает физическую нагрузку на оператора и сокращает время операций, гарантируя строгое соблюдение заданных параметров затяжки резьбовых соединений.

Рабочая станция (РС) предназначена для закрепления инструментов на СК, обеспечивая их надежную фиксацию и оперативный доступ при ВКД [5, 11].

Конструкция РС (рис. 11), основанная на технических решениях патента CN216783902, представляет собой модульную систему на базе несущей рамы (1), оснащенной фиксирующим механизмом (2) для крепления к скаффандру и проушиной (3) для крепления страховочных фалов инструмента. На несущей раме установлены два поворотнo-фиксирующих узла (4) с закрепленными на них секциями хранения инструментов (5).

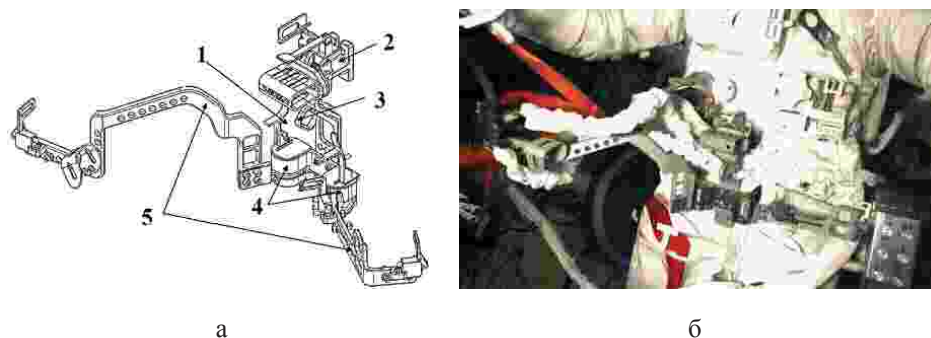


Рис. 11. Рабочая станция:

а – схема устройства; *б* – пример установки на скафандре

РС обеспечивает эргономичное размещение и надежную фиксацию широкого набора инструментов на скафандре, полностью освобождая руки космонавта в процессе ВКД. Благодаря поворотному механизму достигается оптимальный баланс между удобством доступа к оборудованию и свободой обзора в рабочей зоне.

Универсальная рукоятка (УР) предназначена для надежной фиксации и перемещения оборудования космонавтом при работе в СК на внешней поверхности или в шлюзовых отсеках ККС [5, 11].

Конструкция УР (рис. 12) базируется на технических решениях патента CN113753272, и включает в себя фиксирующий узел (1) с поручнем (2). На цилиндрической втулке поручня расположены кнопка блокировки (3) и рычаги (4) привода внутреннего фиксирующего механизма. Для сопряжения с УР целевое оборудование должно быть оснащено стандартным базовым креплением (5).

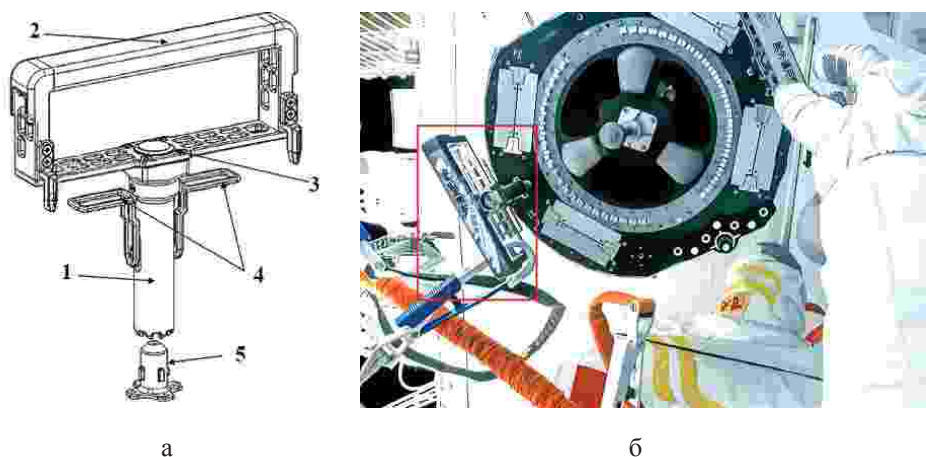


Рис. 12. Универсальная рукоятка:

а – схема устройства; *б* – использование при работе

УР повышает эффективность ВКД за счет эргономичной конструкции, оптимизированной для работы в перчатках СК одной рукой, и обеспечивает надежную безлюфтовую фиксацию широкого спектра оборудования. Унификация интерфейса сопряжения ускоряет выполнение монтажных операций и минимизирует риск случайного отсоединения грузов благодаря двухступенчатой системе блокировки.

Ключ-трещотка (КТ) предназначен для быстрого монтажа и демонтажа резьбовых соединений при ремонте в ходе ВКД на ККС [5, 11].

Конструкция КТ (рис. 13), основанная на технических решениях патента CN113733000, включает узлы: корпус рукоятки (1) с трещоточным механизмом (2); удлинительный стержень (4) с фиксирующим механизмом (3); направляющее устройство, состоящее из стопорного кольца (5), пружины (6), ограничительной (7) и направляющей (8) втулок. Для предотвращения потери инструмента и обеспечения надежного захвата перчатками СК предусмотрены страховочное кольцо (9) и противоскользкое покрытие (10).

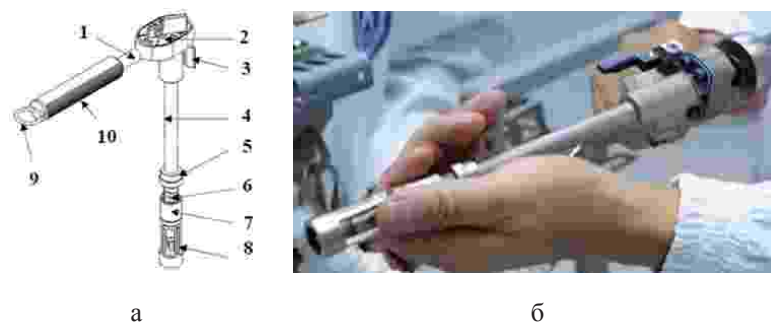


Рис. 13. Ключ-трещотка:

а – схема устройства; *б* – внешний вид

Использование КТ обеспечивает возможность выполнения операций с резьбовыми соединениями одной рукой. Кроме того, конструкция гарантирует надежную блокировку насадок от утери и стабильную работу храпового механизма в условиях вакуума и экстремальных температур.

Система внешнего освещения

Система внешнего освещения ККС предназначена для создания надлежащего уровня освещенности рабочих мест космонавтов при ВКД, рабочих зон манипуляторов при работе с внешними полезными нагрузками и проведении инспекции объектов на внешней поверхности при нахождении станции на теневой части орбиты [5, 14]. На внешней поверхности ККС размещены светодиодные стационарные и подъемно-поворотные прожекторы (рис. 14).

Подъемно-поворотные прожекторы, расположенные на 1-й и 3-й плоскостях ЭМ «Вэньтянь» и «Мэнтянь», – это интегрированные оптико-механические системы. Они состоят из светильника, двухосевого механизма

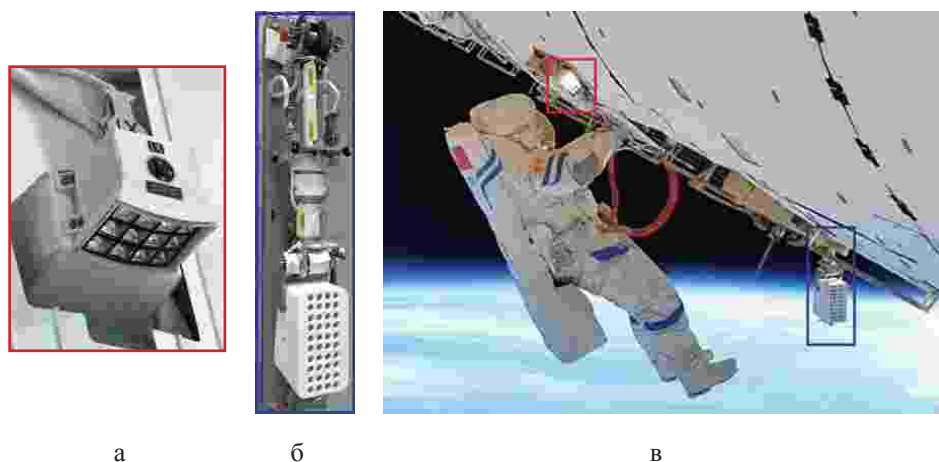


Рис. 14. Проекторы ККС:

а – стационарный проектор; *б* – подъемно-поворотный проектор; *в* – пример размещения на ККС

панорамирования/наклона, устройства раскрытия и контроллера. Вращаясь по азимуту и углу места, системы обеспечивают динамическое и статическое освещение снаружи ККС для поддержки ВКД и видеонаблюдения. Они складываются при запуске, разворачиваются на орбите, имеют широкий диапазон вращения, регулируемую яркость и пригодны для орбитального обслуживания.

Система видеоконтроля

Для контроля ВКД на ККС используются видеокамеры, установленные на скафандрах, манипуляторах и в шлюзовых отсеках. Кроме того, на внешней поверхности станции размещены восемь панорамных видеокамер (ПВК): четыре на БМ и по две на каждом ЭМ [5, 15].

ПВК (рис. 15), разработанные 804-м институтом Шанхайской академии космических технологий (SAST), представляют собой оптико-электронные блоки с четырьмя объективами. Оптические системы обеспечивают одновременное наблюдение в четырех направлениях и трансляцию HD-видео (1080 p) в реальном времени с горизонтальным обзором 180°. Также они позволяют получать панорамные фотографии с охватом 360° по горизонтали и 100° по вертикали. В камерах реализован метод одновременной съемки четырьмя объективами с автоматической бесшовной склейкой кадров, что полностью исключает появление слепых зон.

При запуске станции ПВК были установлены достаточно близко к внешней поверхности ее модулей из-за ограничений, накладываемых обтекателем ракеты, а их подъем выполнен в ходе ВКД, что расширило поле зрения для мониторинга станции. Конструкция ПВК предусматривает возможность их демонтажа для оперативной замены и модернизации.

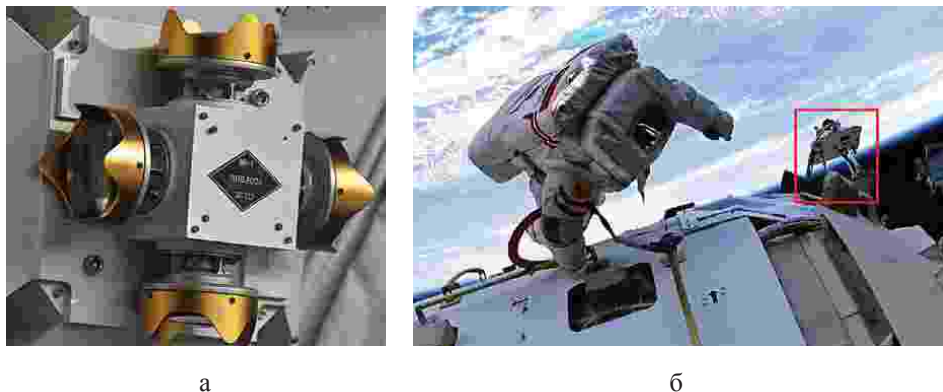


Рис. 15. Панорамная видеокамера:
а – внешний вид; б – размещение в поднятом положении

Выводы

В ходе проведенного анализа были изучены основные элементы комплекса технических средств обеспечения ВКД на ККС, гарантирующих надежное и безопасное функционирование станции. Опыт КНР по созданию и эксплуатации данного комплекса демонстрирует успешную реализацию сложных технических задач – от стадии развертывания многомодульной станции до дооснащения, ремонта и технического обслуживания ее систем. Представленный обзор состава и функционала оборудования, устройств и инструментов обеспечения ВКД на ККС позволяет объективно сопоставить их с отечественными аналогами. Изучение китайских инновационных решений и патентной базы является актуальным инструментом для верификации проектных параметров и оптимизации технических решений в рамках разработки перспективных отечественных пилотируемых программ.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Wang, X. Key Technical Characteristics of the Tiangong Space Station / X. Wang, W. Wang // *Scientia Sinica Technologica*. – 2021. – Vol. 51, Iss. 11. – P. 1287–1298. – DOI: 10.1360/SST-2021-0304.
2. Safety Design for China Space Station / W. Li, Y.Q. Hou, F.J. An [et al.] // *Space: Science & Technology*. – 2023. – Vol. 3. – Art. 0089. – DOI: 10.34133/space.0089.
3. Maintenance Design and Practice for the China Space Station / W. Li, Y.Q. Hou, F.J. An [et al.] // *Scientia Sinica Technologica*. – 2022. – Vol. 52, No 3. – P. 371–386. – DOI: 10.1360/SST-2021-0505.
4. Yang, H. Design and Application Prospect of the China's Tiangong Space Station / H. Yang, B. Li, W. Wang // *Space: Science & Technology*. – 2023. – Vol. 3. – Art. 0035. – DOI: 10.34133/space.0035.
5. A Study on the Design and Implementation Technologies of EVA at the China Space Station / X. Li, Y. Xie, Y. Tian, F. An // *Aerospace*. – 2024. – Vol. 11, No 4. – Art. 264. – DOI: 10.3390/aerospace11040264.

6. Краткий обзор внекорабельной деятельности на китайской космической станции / Е.Ю. Иродов, А.А. Алтунин, Д.И. Верба, Н.Р. Жамалетдинов // Пилотируемые полеты в космос: Материалы XVI Международной научно-практической конференции, Звездный городок, 3–5 декабря 2025 года. – Звездный городок: Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина, 2025. – С. 281–282.
A Brief Overview of Extravehicular Activity on the China Space Station / E.Yu. Irodov, A.A. Altunin, D.I. Verba, N.R. Zhamaletdinov // Proceedings of the XVI Manned Spaceflight International Scientific and Practical Conference, Star City: Yuri Gagarin Cosmonaut Training Center, 2025. – P. 281–282.
7. Внекорабельная деятельность на Китайской космической станции: основные результаты / А.А. Алтунин, Д.И. Верба, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной // Пилотируемые полеты в космос. – 2026. – № 2(59). – С. 119–135.
Extravehicular Activity on the China Space Station: Key Results / A.A. Altunin, D.I. Verba, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy // Manned Spaceflight. – 2026. – No 2(59). – P. 119–135.
8. System Design and Verification of the “Feitian” EVA Spacesuit for the Space Station / W. Zhang, Q. Liao, J. Li [et al.] // Scientia Sinica Technologica. – 2022. – Vol. 52, Iss. 4. – P. 509–524. – DOI: 10.1360/SST-2021-0567.
9. Key Technologies of the China Space Station Core Module Manipulator / C.W. Hu, S. Gao, M.H. Xiong [et al.] // Scientia Sinica Technologica. – 2022. – Vol. 52, No 9. – P. 1299–1331. – DOI: 10.1360/SST-2021-0507.
10. Design and Implementation of Space Manipulator Operating Subsystem / X. Qiu, D. Ma, L. Tian [et al.] // Chinese Journal of Space Science. – 2024. – Vol. 44, Iss. 5. – P. 939–947. – DOI: 10.11728/cjss2024.05.2023-0081.
11. Astronauts Need to Carry 9 Types of 12 Tools to Exit the Cabin, and the Electric Screwdriver Weighs More Than Ten Catties / IT Home: [official website]. – 2021. – URL: https://www.sohu.com/a/475520349_114760 (access date: 05.26.2026).
12. Поисковая система // Google Patents: [сайт]. – 2026. – URL: <https://patents.google.com> (дата обращения 24.03.2026).
Google Patents Search Engine // Google Patents: [website]. – 2026. – URL: <https://patents.google.com> (accessed 24.03.2026).
13. Prototype Design and Performance Verification of a Movable Handrail for Extravehicular Activity of Astronaut / J. Liu, H. Fu, Z. Wang [et al.] // Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics. – 2024. – Vol. 41, No 1. – P. 107–121. – DOI: 10.16356/j.1005-1120.2024.01.009.
14. Success! Astronauts Complete Another EVA Utilizing the Space Station’s “Panoramic Eye” for Space Observation // Shanghai Academy of Spaceflight Technology: [official website]. – 2022. – URL: <https://www.sast.net/news/182.html> (access date: 05.26.2026).
15. “Wentian” Launch! 510th Institute Shows Majestic Power Again // China Gansu Network: [website]. – 2022. – URL: <http://gansu.gscn.com.cn/system/2022/07/24/012798711.shtml> (accessed 26.05.2026).