

УДК 004.896:629.78.007

**ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ  
КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ И ЗАДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ  
АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ  
КОСМИЧЕСКИХ ПРОГРАММ**

В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев,  
Э.В. Никитов, В.В. Швецов, Е.А. Дудоров

Докт. техн. наук, проф. В.А. Дикарев; канд. техн. наук, доц. А.Н. Симбаев;  
А.Ю. Кикина; Ю.С. Чеботарев; Э.В. Никитов; В.В. Швецов  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)  
Канд. техн. наук, доц. Е.А. Дудоров (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)

В статье рассматривается проблема несоответствия кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств антропоморфных робототехнических систем для перспективных пилотируемых космических программ. Рассмотрены особенности кинематики задающего устройства копирующего типа. Предложен интегрированный метод определения точности позиционирования исполнительных органов технических систем. Произведены расчеты рассогласования кинематических характеристик задающего и исполнительного устройства, сочетающие метод математического сравнения расчетов и метод приведения подобия.

**Ключевые слова:** копирующее управление, антропоморфный робот, задающее устройство копирующего типа, точность копирования, кинематическая схема, космический эксперимент

**The Problem of Ensuring the Conformity between Kinematic  
Characteristics of Executive Devices and Master Controllers  
of Humanoid Robotic Systems for Future Manned Space Programs.  
V.A. Dikarev, A.N. Simbaev, A.Yu. Kikina, Yu.S. Chebotarev,  
E.V. Nikitov, V.V. Shvetsov, E.A. Dudorov**

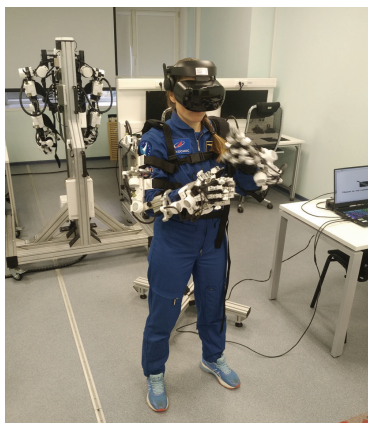
The paper deals with the problem of unconformity between kinematic characteristics of executive devices and master controllers of humanoid robotic systems for future manned space programs and, also, the kinematic features of a master-slave type controller. An integrated method to determine the accuracy of positioning the executive organs of technical systems is proposed. The discrepancies between kinematic characteristics of an executive device and a master controller were calculated, using both the method of mathematical calculations comparison and method of similarity reduction.

**Keywords:** master-slave control, humanoid robot, master-slave type controller, positioning accuracy, kinematic scheme, space experiment

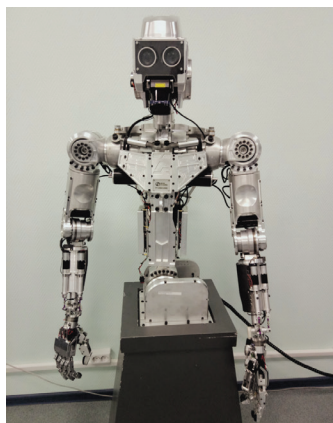
Для перспективных пилотируемых космических программ (ППКП) востребованным способом управления антропоморфными робототехническими системами (АРТС) [1, 2, 7], в которых в качестве исполнительных устройств (ИУ) используются антропоморфные роботы (АР), остается управление в «копирующем режиме», реализуемое с помощью задающих устройств копирующего типа (ЗУКТ) посредством копирования действий космонавтов-операторов, облаченных в эти задающие устройства. Использование контура управления с задействованием ЗУКТ возможно применительно к агрессивной, опасной, связанной с рисками для здоровья и/или жизни человека среде. Дистанционное управление АР в «копирующем режиме» обеспечивает безопасное выполнение работы в условиях открытого космоса, с возможностью применения гибкого подхода к процессу выполнения полетных заданий (операций).

Одной из проблем управления АР в «копирующем режиме» является обеспечение точности управления, достижение полного подобия между движениями космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ (рис. 1 а), и кинематическими звеньями АР (рис. 1 б), образцы которых, например, применяются в универсальном компьютерном стенде робототехнических систем (УКС РТС) ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» [3].

УКС РТС с технологическим макетом № 1 (ТМ-1) АР был успешно использован ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» в процессе наземной подготовки космонавтов к бортовой реализации космического эксперимента «Испытатель» [1]. Ввиду того что при проведении экспериментальных исследований наблюдается рассогласованность движений космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ, и движений самого АР, «копирующий режим» может считаться условным, т. к. не обеспечивает полную адекватность копируемых АР движений.



а



б

Рис. 1. Образцы применяемых в ЗУКТ и АР в УКС РТС:

а – космонавт-испытатель, облаченный в мобильный ЗУКТ; б – технологический макет АР

На данную рассогласованность оказывают влияние ошибки (перед началом работы – калибровки, в процессе работы – систематические, случайные, накапливаемые и т. п.). В частности, измерений датчиков углового положения шарниров кинематических звеньев мобильного задающего устройства копирующего типа (ЗУКТ-М) УКС РТС (рис. 2–4), используемых для управления двигателями АР, точностные характеристики двигателей, отрабатывающих пространственное изменение кинематических звеньев АР по параметрам измерений датчиков ЗУКТ-М, ошибки вычислений в контуре управления и т. д.

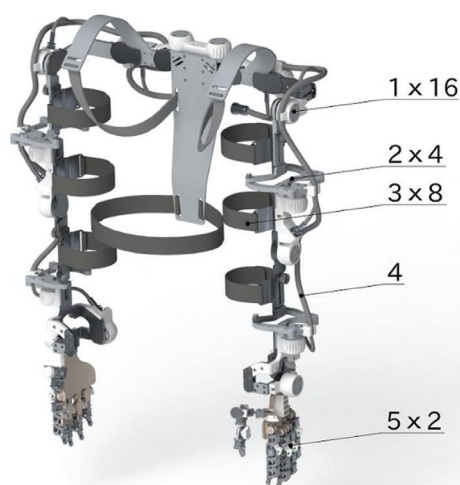


Рис. 2. Конструкция образца мобильного ЗУКТ-М УКС РТС:

1 – шарниры задающего устройства с датчиками углового положения; 2 – узлы ротации; 3 – ремни для фиксации ЗУКТ-М на операторе; 4 – кабель; 5 – перчатка ЗУКТ-М

Перчатка ЗУКТ-М (рис. 3) представляет собой исполнительную группу звеньев (ИГЗ), закрепленную опорными пластинами на перчатке.

Датчики углового положения расположены на ИГЗ каждого пальца перчатки. Обратная тактильная связь в перчатке реализуется с помощью пяти вибродвигателей, закрепленных на перчатке в зоне дистальной фаланги каждого пальца. При проведении технического обслуживания УКС РТС и подготовке его к применению по назначению имеется возможность проверки с помощью программно-аппаратных средств (рис. 4) [3] текущего состояния калибровки углового положения универсального узла (рис. 5), который объединен с датчиком углового положения одним корпусом, присутствует на всех подвижных узлах ЗУКТ-М и обеспечивает поворот шарнира.

Выявление рассогласованности углового положения универсальных узлов от соответствующих значений в таблице программного обеспечения указывает на гарантированное несоответствие управляющих движений от ЗУКТ-М с движениями соответствующих звеньев АР.

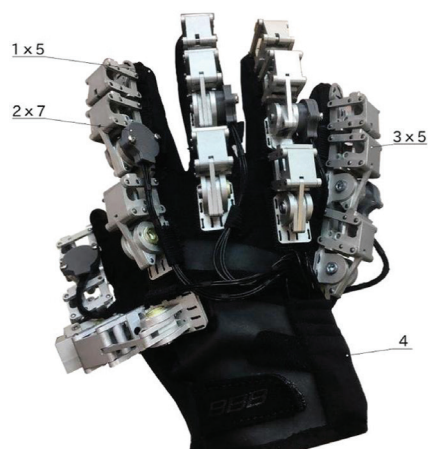


Рис. 3. Конструкция перчатки ЗУКТ-М:

1 – место расположения вибродатчиков; 2 – датчик углового положения; 3 – ИГЗ;  
4 – основа перчатки

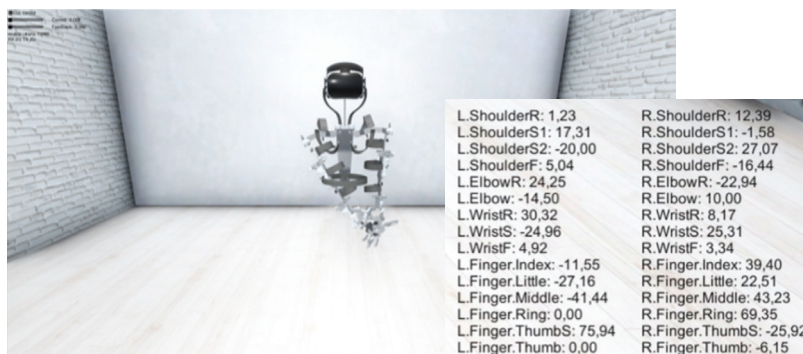


Рис. 4. Виртуальная модель ЗУКТ-М

с отражением значений углов поворота кинематических звеньев

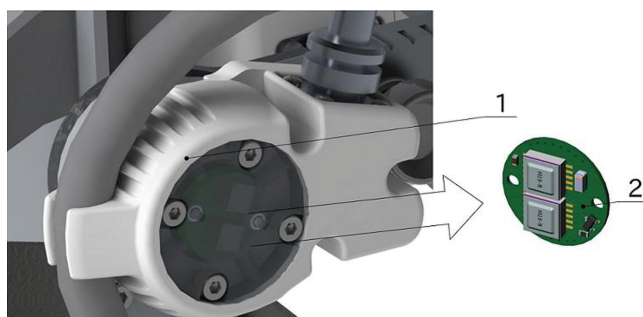


Рис. 5. Универсальный узел ЗУКТ-М:

1 – корпус универсального узла; 2 – датчик углового положения

Особое внимание следует обратить на то, что при удаленной работе оператора по управлению АР оценка точности управления и позиционирование кинематических звеньев АР, включая элементы ИУ (в частном случае схваты), осуществляется за счет технического зрения. Для этого совместно с ЗУКТ-М используется шлем виртуальной реальности (ШВР) (рис. 6), который предназначен для передачи оператору ЗУКТ-М стереоизображения рабочей зоны АР.

В АРМ-М модуль контроллера ЗУКТ-М, функционирующий в составе ШВР, осуществляет сбор данных об угловых положениях шарниров ЗУКТ-М с 32 датчиков углового положения ЗУКТ-М по двум интерфейсам SSI с дифференциальными линиями связи. Передача этих данных на ноутбук (рис. 7) осуществляется по интерфейсу USB 2.0.

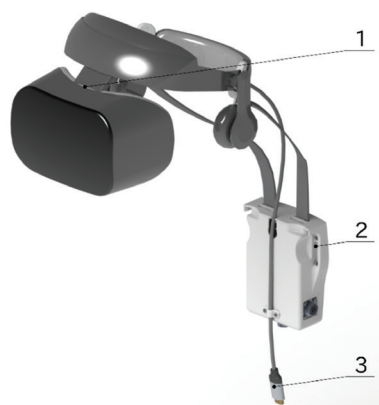


Рис. 6. Шлем виртуальной реальности для работы с ЗУКТ-М:  
1 – ШВР; 2 – блок контроллера ЗУКТ-М; 3 – USB-кабель

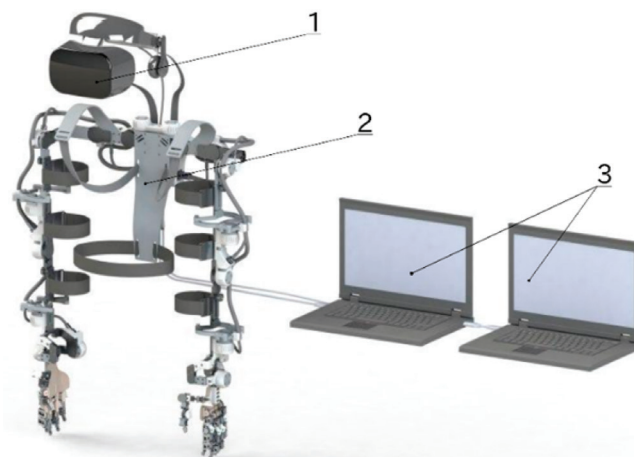


Рис. 7. Мобильное автоматизированное место:  
1 – ШВР; 2 – ЗУКТ-М; 3 – ноутбуки

Обратная тактильная связь в ЗУКТ-М реализуется с помощью вибродвигателей, установленных в перчатках, которые начинают воздействовать на пальцы рук оператора при манипулировании предметами АР или 3D-моделью АР.

Сложность оценки точности управления и позиционирования кинематических звеньев АР заключается в том, что количество звеньев, линейные размеры, компоновка ЗУКТ-М с одной стороны, и управляемого АР с другой, как правило, отличаются.

Если пренебречь этими возможными ошибками, то можно считать, что полная кинематическая адекватность «копирующего режима» может быть достигнута за счет достижения полного сходства количества кинематических звеньев и их линейных размеров АР с количеством кинематических звеньев и их линейных размеров ЗУКТ. Для достижения полной кинематической адекватности «копирующего режима» не представляется возможным подобрать космонавта-оператора с соответствующими задающему устройству антропометрическими параметрами.

Для удобства облачения и работы космонавта-оператора в ЗУКТ-М предусмотрена возможность изменения линейных размеров некоторых кинематических звеньев задающего устройства под антропометрические параметры конкретного космонавта-оператора (рис. 8).

В том числе, для этих целей предусмотрен узел ротации плеча и предплечья (рис. 9), выполненный в виде рычажного механизма с вынесенной осью поворота, что позволяет совместить ось ротации плеча/предплечья оператора и ЗУКТ-М.

Изменения линейных размеров некоторых кинематических звеньев задающего устройства под антропоморфные параметры конкретного космонавта-оператора способствуют ухудшению качества управления и, как

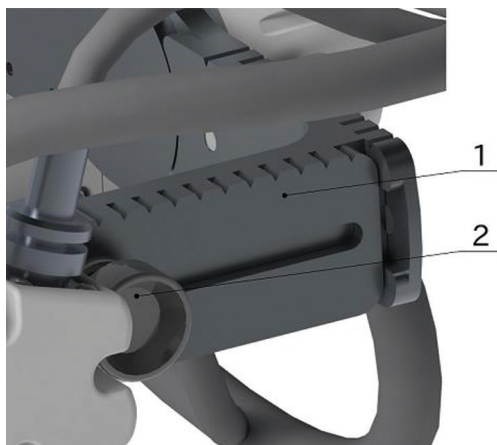


Рис. 8. Элементы ЗУКТ-М для настройки длины звеньев:

1 – пластина с рисками; 2 – болт фиксации



Рис. 9. Узел ротации плеча и предплечья ЗУКТ-М

следствие, вызывают рассогласованность в действиях АР и космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ.

На основании сравнительного анализа кинематической схемы ЗУКТ-М (рис. 10 а) и кинематической схемы ТМ-1 АР (рис. 10 б), включающих предкистевые окончания, проведены предварительные исследования влияния линейных размеров кинематических звеньев задающего устройства на уровень рассогласованности в действиях АР.

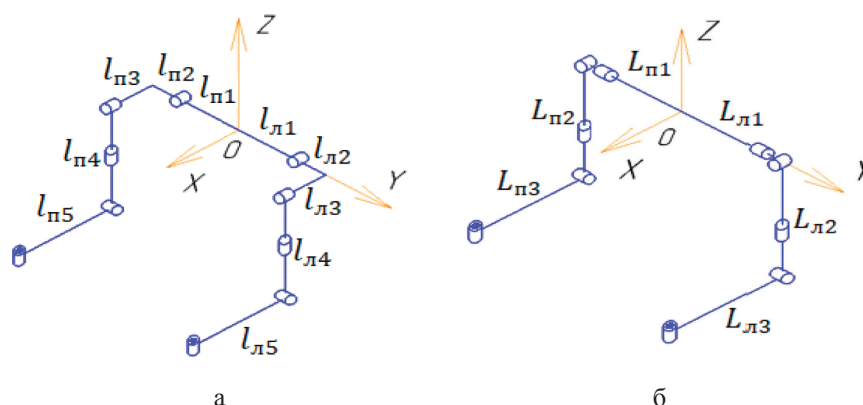


Рис. 10. Кинематические схемы:  
а – ЗУКТ-М; б – ТМ-1 АР

Причем для кинематической схемы ЗУКТ-М линейные размеры множества из  $k \in p = 1 \dots P$  (где  $P$  – количество звеньев одной составной части ЗУКТ-М) кинематических звеньев  $l_k$  левых (л) и правых (п) его составных частей может регулироваться одинаково в пределах минимальных

$$l_{k\text{мин}} = l_{лк\text{мин}} = l_{пк\text{мин}}$$

и максимальных

$$l_{k\text{макс}} = l_{лк\text{макс}} = l_{пк\text{макс}}$$

значений (рис. 11, зеленый интервал), а для кинематической схемы ТМ-1 АР линейные размеры всех  $n$ -х кинематических звеньев

$$L_n = L_{лн} = L_{пн}$$

левых и правых его манипуляторов ( $n = 1 \dots N$ , где  $N$  – количество звеньев одного манипулятора ТМ-1 АР) остаются постоянными (рис. 11, красная точка).

Из соотношения размеров кинематических звеньев ЗУКТ-М и ТМ-1 АР следует, что имеет место ситуация (рис. 11 б), когда размер кинематических звеньев ТМ-1 АР выходит за предел минимальных и максимальных значений соответствующих регулируемых кинематических звеньев ЗУКТ-М.

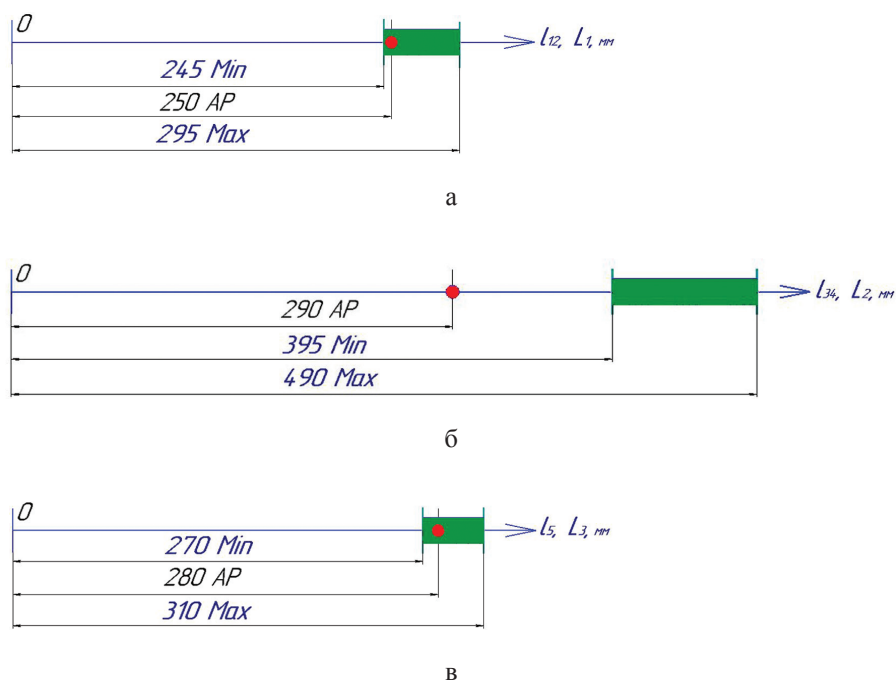


Рис. 11. Соотношение размеров кинематических звеньев ТМ-1 АР и ЗУКТ-М:

$$a) l_{12} = l_1 + l_2 \text{ и } L_1; б) l_{34} = l_3 + l_4 \text{ и } L_2; в) l_5 \text{ и } L_3$$

Это является потенциально заложенной конструктивной структурно-параметрической несогласованностью АР и ЗУКТ, которая может способствовать возрастанию рассогласованности в действиях АР и космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ с учетом его антропометрических характеристик.

Для выполнения предварительных исследований влияния линейных размеров кинематических звеньев задающего устройства на уровень рассогласованности в действиях АР предложен интегрированный метод, основанный на поэтапном применении существующих методов: метода приведения подобия управляющих сигналов [5]; метода математического сравнения расчетов [6]. На первом этапе используется метод приведения подобия управляющих сигналов для обеспечения угловых положений звеньев ТМ-1 АР, равных зафиксированным угловым положениям соответствующих звеньев ЗУКТ-М. Причем угловые положения звеньев ЗУКТ-М фиксируются, когда его предкистевые окончания смыкаются между собой. На втором этапе применяется метод математического сравнения расчетов для вычисления рассогласованности пространственного положения предкистевых окончаний ТМ-1 АР относительно пространственного положения сомкнутых предкистевых окончаний ЗУКТ-М. Предлагаемый интегрированный метод вполне может быть использован как для предварительных исследований влияния линейных размеров кинематических звеньев задающего устройства на уровень



рассогласованности в действиях АР, так и для определения такого рода возможных расхождений при заданных антропоморфных параметрах конкретных космонавтов-операторов. На примере определения уровня возможной пространственной рассогласованности между кинематической схемой ТМ-1 АР и кинематической схемой ЗУКТ-М проекции на плоскость  $XOY$  (рис. 12) рассмотрим отдельно процедуру применения предлагаемого комбинированного метода.

В начале первого этапа для заданного  $j$ -го варианта размеров звеньев

$$l_{12}(j) = l_{л1} + l_{л2}(j) = l_{п1} + l_{п2}(j), \quad l_{34}(j) = l_{л3} + l_{л4}(j) = l_{п3} + l_{п4}(j),$$

$$l_5(j) = l_{л5}(j) = l_{п5}(j),$$

составных частей ЗУКТ-М ( $j = 1 \dots J$ , где  $J$  – количество вариантов размеров) и  $i$ -го сценария пространственного симметричного их позиционирования ( $i = 1 \dots I$ , где  $I$  – количество сценариев позиционирования) выполняется смыкание его предкистевых окончаний и фиксируются угловые положения звеньев, которым в проекции на плоскость  $XOY$  соответствуют углы:

$$\alpha_{l_{11}l_4}(i, j) = \alpha_{л1л4}(i, j) = \alpha_{п1п4}(i, j),$$

$$\alpha_{l_4l_5}(i, j) = \alpha_{л4л5}(i, j) = \alpha_{п4п5}(i, j).$$

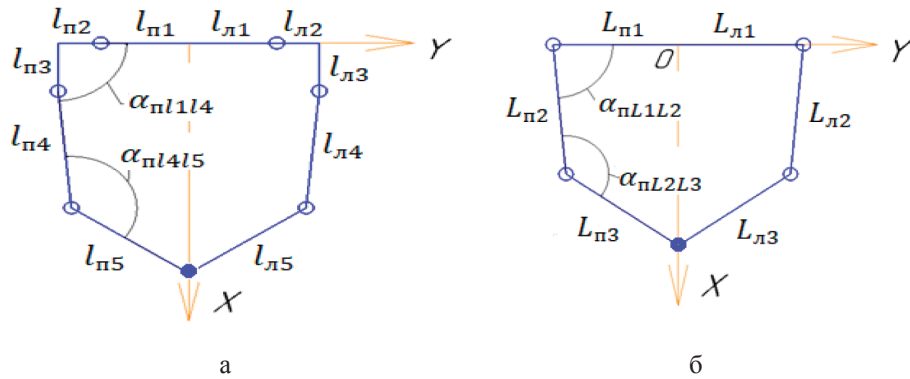


Рис. 12. Кинематические схемы в проекции на плоскость  $XOY$ :  
 а – ЗУКТ-М; б – ТМ-1 АР

Далее в проекции на плоскость  $XOY$  выполняется построение кинематической схемы позиционирования манипуляторов ТМ-1 АР при

$$L_1(i) = L_{л1}(i) = L_{п1}(i), \quad L_2(i) = L_{л2}(i) = L_{п2}(i),$$

$$L_3(i) = L_{л3}(i) = L_{п3}(i),$$

в которой обеспечивается равенство углов между ее звеньями

$$\alpha_{L_1L_2}(i, j) = \alpha_{\text{л}L_1L_2}(i, j) = \alpha_{\text{п}L_1L_2}(i, j),$$

$$\alpha_{L_2L_3}(i, j) = \alpha_{\text{л}L_2L_3}(i, j) = \alpha_{\text{п}L_2L_3}(i, j)$$

соответствующим углам между звеньями кинематической схемы ЗУКТ-М

$$\alpha_{i1i4}(i), \alpha_{i4i5}(i),$$

а именно:

$$\alpha_{L_1L_2}(i, j) = \alpha_{i1i4}(i, j); \alpha_{L_2L_3}(i, j) = \alpha_{i4i5}(i, j).$$

На втором этапе выполняется расчет величины рассогласованности, который, в частности, в проекции на ось  $OY$  определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \Delta Y(i, j) &= [L_{\text{л}1}(i) - L_{\text{л}2}(i)\cos(\alpha_{\text{л}L_1L_2}(i, j)) + \\ &+ L_{\text{л}3}(i)\cos(\alpha_{\text{л}L_1L_2}(i, j) + \alpha_{\text{л}L_2L_3}(i, j))] + \\ &+ [L_{\text{п}1}(i) - L_{\text{п}2}(i)\cos(\alpha_{\text{п}L_1L_2}(i, j)) + \\ &+ L_{\text{п}3}(i)\cos(\alpha_{\text{п}L_1L_2}(i, j) + \alpha_{\text{п}L_2L_3}(i, j))] = \\ &= 2[L_1(i) - L_2(i)\cos(\alpha_{L_1L_2}(i, j)) + L_3(i)\cos(\alpha_{L_1L_2}(i, j) + \alpha_{L_2L_3}(i, j))]. \end{aligned}$$

В качестве примера для исследуемых различных сценариев пространственного симметричного позиционирования составных частей ЗУКТ-М в соответствии с рассмотренной процедурой получены результаты рассогласованности в проекциях на плоскость  $XOY$  пространственного положения предкистевых окончаний ТМ-1 АР, которые представлены в табл. 1 при минимальных и табл. 2 при максимальных размерах регулируемых звеньев ЗУКТ-М. Изменение линейных размеров некоторых кинематических звеньев ЗУКТ-М задающего устройства под антропоморфные параметры конкретного космонавта-оператора способствует ухудшению качества управления и, как следствие, вызывает рассогласованность в действиях ТМ-1 АР и космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ-М. Результаты исследований показывают, что величины рассогласования по оси  $OY$  могут достигать более 33 мм, и наблюдается пересечение манипуляторов АР. Результаты исследований (табл. 1, 2) также показывают, что кроме результатов кинематического анализа необходимо обеспечить планирование траекторий движения рабочих органов робота с целью исключения столкновений рабочих органов АР.

Таблица 1

Результаты пространственного позиционирования звеньев ТМ-1 АР при минимальных размерах звеньев ЗУКТ-М

№ сценария	ЗУКТ-М	ТМ-1 АР
1		
2		
3		
4		

Таблица 2

Результаты пространственного позиционирования звеньев ТМ-1 АР при максимальных размерах звеньев ЗУКТ-М

№ сценария	ЗУКТ-М	ТМ-1 АР
1		
2		
3		
4		

На рис. 13 для аналогичных вариантов пространственного позиционирования (табл. 1, 2) представлена обобщенная оценка величины рассогласованности в действиях ТМ-1 АР в зависимости от линейных размеров кинематических звеньев ЗУКТ-М для случая, когда все линейные размеры  $l_k(j)$  одновременно изменяются  $l_{k\text{мин}}$  равными приращениями до  $l_{k\text{макс}}$

$$\Delta l_k(j) = (l_{k\text{макс}} - l_{k\text{мин}})/(J - 1),$$

т. е. имеет линейный характер:

$$l_k(j) = l_{k\text{мин}} + (j - 1)(l_{k\text{макс}} - l_{k\text{мин}})/(J - 1).$$

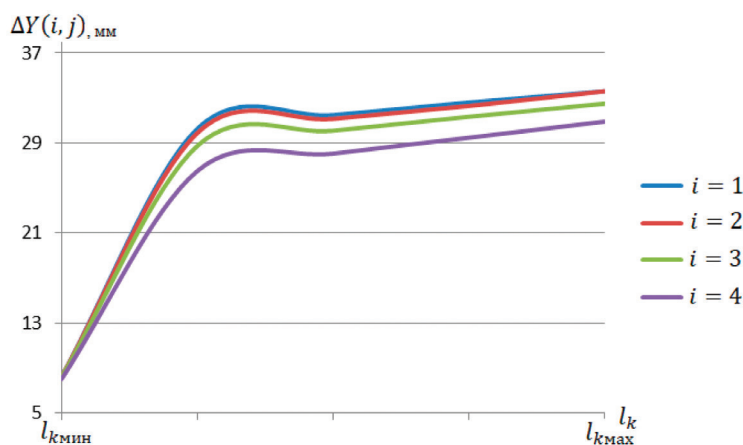


Рис. 13. Оценка величины рассогласованности действий ТМ-1 АР при линейном изменении размеров звеньев ЗУКТ-М

Из графика видно, что динамика изменения уровня рассогласованности в действиях ТМ-1 АР имеет нелинейный характер при линейном изменении размеров кинематических звеньев ЗУКТ-М.

В целях верификации результатов, полученных на примере комбинации ТМ-1 АР и ЗУКТ-М аналогичным образом проведены предварительные исследования для других комбинаций, сочетающих в себе ТМ-1 АР и стационарное задающее устройство копирующего типа (ЗУКТ-С) УКС РТС (рис. 14 а), эскизный образец АР целевой работы «Теледроид» (ЭО АР-Т) (рис. 14 б) и его опытный образец задающего устройства копирующего типа (ОО ЗУКТ-Т) (рис. 14 в).

Следует отметить, что кинематические схемы построения соответственно ТМ-1 АР и ЗУКТ-С, а также ЭО АР-Т и ОО ЗУКТ-Т являются аналогичными по отношению к кинематическим схемам, изображенным на рис. 10. На рис. 15 и 16 показаны соотношения параметров кинематических звеньев ТМ-1 АР и ЗУКТ-С, ЭО АР-Т и ОО ЗУКТ-Т соответственно.

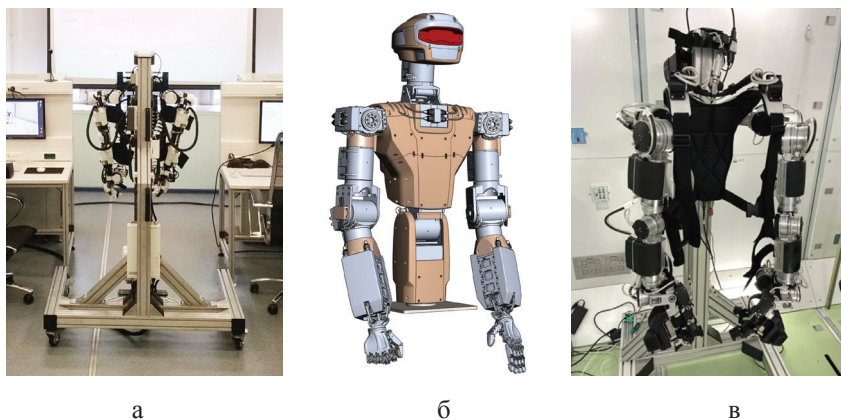


Рис. 14. Используемые образцы для верификации результатов:  
*a* – ЗУКТ-С; *б* – АР-Т; *в* – ЗУКТ-Т

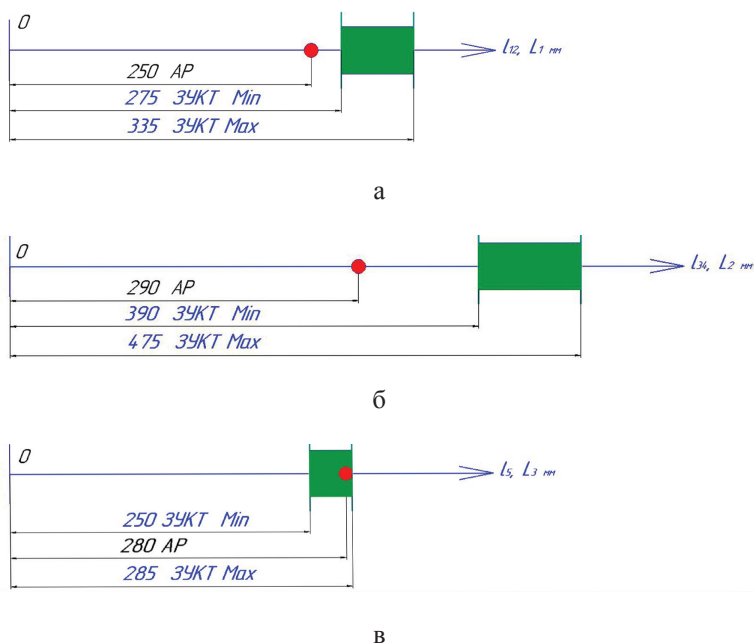


Рис. 15. Соотношение размеров кинематических звеньев ТМ-1 АР и ЗУКТ-С:  
*a)  $l_{12} = l_1 + l_2 + L_1$ ; б)  $l_{34} = l_3 + l_4 + L_2$ ; в)  $l_5$  и  $L_3$*

Имеющиеся соотношения размеров кинематических звеньев образцов, используемых для верификации результатов, повторяют ситуацию, аналогичную (рис. 11 б), когда размеры звеньев образца АР выходят за предел минимальных и максимальных значений размеров соответствующих регулируемых звеньев образцов ЗУКТ: для комбинации ЗУКТ-С и ТМ-1 АР (рис. 15 а, б); для комбинации ОО ЗУКТ-Т и ЭО АР-Т (рис. 16 а, б, в). Это

подтверждает наличие потенциально заложенной конструктивной структурно-параметрической несогласованности АР и ЗУКТ, которая может приводить к большей рассогласованности в действиях АР и космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ с учетом его антропометрических характеристик. На рис. 17 и 18 для аналогичных сценариев пространственного позиционирования (табл. 1, 2) представлена обобщенная оценка величин рассогласованности в действиях соответственно ТМ-1 АР и ЭО АР-Т в зависимости от линейных размеров кинематических звеньев ЗУКТ-М и ОО ЗУКТ-Т для случая, когда все линейные размеры  $l_k(j)$  одновременно изменяются от  $l_{k\text{мин}}$  равными приращениями до  $l_{k\text{макс}}$ .

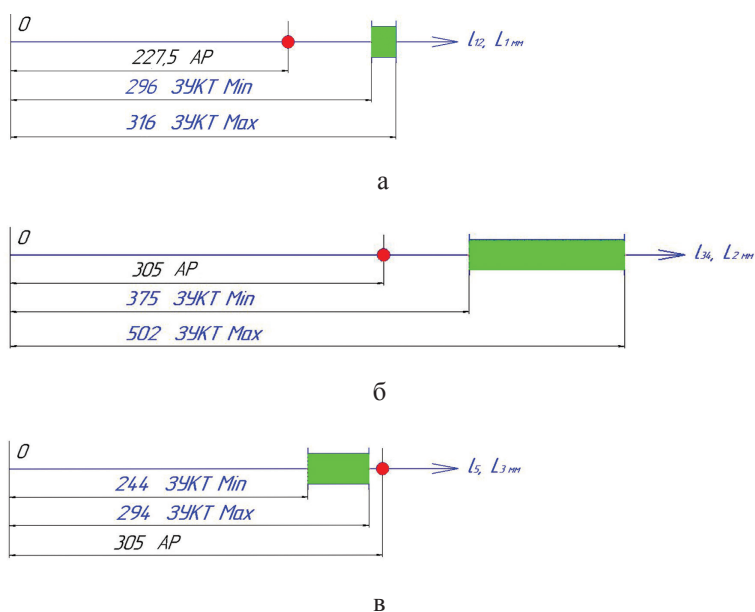


Рис. 16. Соотношение размеров кинематических звеньев ЭО АР-Т и ОО ЗУКТ-Т:  
 а)  $l_{12} = l_1 + l_2$  и  $L_1$ ; б)  $l_{34} = l_3 + l_4$  и  $L_2$ ; в)  $l_5$  и  $L_3$

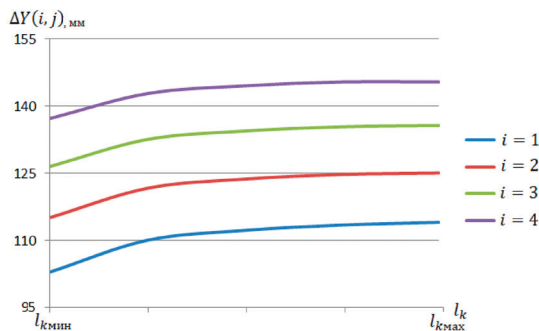


Рис. 17. Оценка величины рассогласованности действий ТМ-1 АР при линейном изменении размеров звеньев ЗУКТ-С

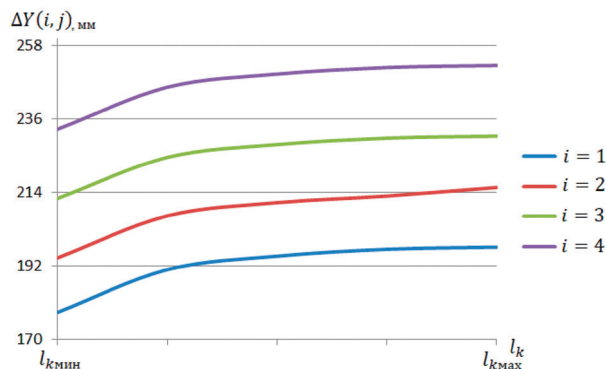


Рис. 18. Оценка величины рассогласованности действий ЭО АР-Т при линейном изменении размеров звеньев ОО ЗУКТ-Т

Графики подтверждают то, что величины изменения уровня рассогласованности в действиях соответственно ТМ-1 АР и ЭО АР-Т имеют нелинейный характер при линейном изменении размеров кинематических звеньев ЗУКТ-С и ОО ЗУКТ-Т.

## Выводы

Результаты исследований показывают, что значения ошибки позиционирования звеньев АР при управлении с помощью ЗУКТ существенно зависят от соотношений геометрических размеров ЗУКТ и АР и носят нелинейный характер.

Изменения линейных размеров некоторых кинематических звеньев задающего устройства под антропоморфные параметры конкретного космонавта-оператора способствуют ухудшению качества управления и, как следствие, вызывают рассогласованность в действиях АР и космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ. Результаты исследований показали, что величина рассогласования по оси  $OY$  может достигать 150 мм.

В целях избегания критической, приводящей к срыву выполнения заданий, рассогласованности действий АР и космонавта-оператора, облаченного в ЗУКТ, требуется проведение предварительного сопоставления кинематических характеристик АР с соответствующими текущими кинематическими характеристиками ЗУКТ для определения специальных параметров, демпфирующих потенциально возможные рассогласования. Это позволит обеспечить согласованность кинематических характеристик исполнительных и задающих устройств АРТС под индивидуальные антропоморфные параметры космонавтов-операторов. Результаты исследований (табл. 1, 2) также показывают, что кроме результатов кинематического анализа необходимо обеспечить планирование траекторий движений рабочих органов робота с целью исключения столкновений рабочих органов АР.



Исследование и апробация механизмов по определению параметров, демпфирующих потенциально возможные рассогласования кинематических характеристик АР и ЗУКТ, планируется выполнять в ходе предварительного проектирования типовых полетных заданий (операций) ППКП [4] на УКС РТС [3].

Наличие таких апробированных механизмов позволит в процессе наземной подготовки основных и дублирующих экипажей к космическому эксперименту «Теледроид» [2] с использованием УКС РТС и летных образцов ЗУКТ, АР сформировать с учетом антропоморфных параметров космонавта, участвующего в этом эксперименте, «персональную базу данных», демпфирующую потенциально возможные рассогласования кинематических характеристик летных образцов. Эти данные можно предварительно загрузить в ноутбуки МКС и тем самым обеспечить антропоморфную совместимость космонавтов с научной аппаратурой во время бортовой реализации космического эксперимента. Это сможет способствовать повышению качества обработки экспериментальных данных, полученных в ходе проведения космического эксперимента «Теледроид», и достижению его планируемых результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Испытатель: эксперимент. – <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/ispytatel/> (дата обращения 16.05.2022).
- [2] Теледроид: эксперимент. – <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (дата обращения 16.05.2022).
- [3] Предпосылки и результаты модернизации универсального компьютерного стенда робототехнических систем / В.А. Дикарев, В.А. Довженко, Э.В. Никитов, Ю.С. Чеботарев // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 4(41). – С. 36–47.
- [4] Чеботарев, Ю.С. О некоторых направлениях обеспечения коллаборативного взаимодействия космонавтов с робототехническими системами для пилотируемых космических полетов / Ю.С. Чеботарев, В.А. Дикарев // Труды Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (Proceedings of the International scientific and technological conference «Extreme robotics»). – 352 с. – 10.31776/ConfER.32.2021. – С. 65–77.
- [5] Понятия и условия подобия систем управления / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, Д.Г. Березин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2012. – № 12. – С. 56–58.
- [6] Байнева, И.И. Методы математического моделирования: учебно-методический комплекс; Саранск: Издательство Мордовского университета, 2018.
- [7] Сорокин, В.Г. Этапы информационного взаимодействия космонавта с антропоморфным роботом космического назначения в «копирующем режиме» / В.Г. Сорокин, Е.А. Дудоров // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 2(39). – С. 78–96.

#### REFERENCES

- [1] Ispytatel: experiment. – <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/ispytatel/> (accessed on 16.05.2022).

- [2] Teledroid: experiment. – URL: <https://tsniimash.ru/science/scientific-experiments-onboard-the-is-rs/cnts/experiments/teledroid/> (accessed on 16.05.2022).
- [3] Motivation and results of modernization of multipurpose computer-aided simulator of robotic systems / V.A. Dikarev, V.A. Dovzhenko, E.V. Nikitov, Yu.S. Chebotarev // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2021. – No 4(41). – P. 36–47.
- [4] Chebotarev, Yu.S. About areas of ensuring the collaborative interaction of astronauts with robotic systems for manned space flights / Yu.S. Chebotarev, V.A. Dykarev // Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Extreme Robotics”. – 352 p., 10.31776/ConfER.32.2021. – P. 65–77.
- [5] Concepts and conditions of control systems similarity / L.P. Myshlyaev, V.F. Yevtushenko, D.G. Berezin [et al.] // Izvestiya. Ferrous metallurgy. – 2012. – No. 12. – P. 56–58.
- [6] Bayneva, I.I. Methods of mathematical modeling: educational and methodical complex; Saransk: Mordovia University Press, 2018.
- [7] Sorokin, V.G. Phases of information interaction of a cosmonaut with a space humanoid robot in a master-slave mode / V.G. Sorokin, E.A. Dudorov // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2021. – No 2(39). – P. 78–96.