

УДК 621.01

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Щелкунов Е.Б., Виноградов С.В., Щелкунова М.Е., Сарилов М.Ю.

*ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»,
Комсомольск-на-Амуре, e-mail: knastu@knastu.ru*

В настоящее время в мировом станкостроении активно развивается инновационное направление – станки с параллельной кинематикой, основанные на использовании рычажно-шарнирных механизмов параллельной структуры. В статье проведена систематизация теоретически возможных реализаций компоновочных схем механизмов параллельной структуры. Представлено описание программы для ЭВМ, позволяющей значительно сократить временные затраты при проектировании и исследовании механизмов параллельной структуры, приведено изображение главного окна интерфейса программы с описанием работы основных вкладок, окон и оригинальных шаблонов, позволяющих максимально формализовать все процессы расчетов параметров геометрического рабочего пространства прямым и обратным способом. Исходным языком программирования является Visual Basic. Среда разработки – Visual Basic for Application. Для функционирования данной программы необходима операционная система Windows XP или выше, ПО Microsoft Office Excel 2007 и выше, MathCAD 11 или выше.

Ключевые слова: станок с параллельной кинематикой, механизм параллельной структуры, гексапод, штанга, шарнир, алгоритм, систематизация схем механизмов параллельной структуры

COMPUTER-AIDED DESIGN MECHANISMS PARALLEL STRUCTURES

Schelkunov E.B., Vinogradov S.V., Schelkunova M.E., Sarilov M.Y.

*¹FGBOU VPO «Komsomolsk-on-Amur State Technical University»,
Komsomolsk-on-Amur, e-mail: knastu@knastu.ru*

Currently, the global machine tool industry is actively developing innovative direction – machines with parallel kinematics based on the use of lever-hinge mechanisms of parallel structure. The article systematized theoretically possible implementations layout schemes of mechanisms of parallel structure. The description of the computer program, which allows to significantly reduce the time required for the design and study of the mechanisms of parallel structure, the image shows the main window of the program interface describing the work of the main tabs, windows and original templates that can help to formalize all the processes of calculating the parameters of the geometric workspace direct and inverse method. Source programming language is Visual Basic. Development environment Visual Basic for Application. For the operation of this program requires the operating system Windows XP or higher, Microsoft Office Excel 2007 and above, MathCAD 11 or higher.

Keywords: machine with parallel kinematics, mechanism of parallel structure, hexapod, Rod, Rod algorithm, classification schemes, mechanisms of parallel structures

В настоящее время в мировом станкостроении активно развивается инновационное направление – станки с параллельной кинематикой, основанные на использовании рычажно-шарнирных механизмов параллельной структуры (МПС).

На сегодняшний день существует множество различных конструкций МПС, которые можно классифицировать по следующим компоновочным признакам: по виду штанг; по количеству штанг; по характеру расположения шарниров на платформе и основании и др. [1, 3, 5]. Система расположения в пространстве основных компонентов механизма образует индивидуальные компоновки.

Создание нового оборудования с МПС является сложной конструкторской задачей, при решении которой конструктор сталкивается с необходимостью

перебора множества вариантов компоновочных решений МПС, таких как размещение шарниров на платформе и основании, увязка размеров элементов механизма и др.

При этом разработчик вынужден выполнять массу трудоемких расчетов, большую часть из которых возможно автоматизировать с помощью специализированных программных средств.

С целью уменьшения временных затрат при проектировании и анализе МПС авторами разработано программное обеспечение (ПО), позволяющее организовать работу пользователя путем предоставления ему выбора сценария проведения расчетов, перекрестной проверки корректности вводимых данных и вывода результатов расчета в удобной для пользователя форме.

**Систематизация
компоновочных схем МПС**

На рис. 1 представлены некоторые из многообразия теоретически возможных исполнений механизмов с шестью штангами – гексаподов.

Представленные компоновочные схемы авторы условно разделили на две группы:

– симметричные (рис. 1, а–е), где все шарниры основания и платформы размещены равномерно (рис. 1, а) или пары шарниров расставлены так, чтобы выполнялось условие симметрии вращения (рис. 1, б–е);

– несимметричные (рис. 1, ж, з, и), где размещение шарниров не подчиняется определенному порядку.

Для механизма с меньшим количеством приводных штанг (от двух до пяти) существуют только два варианта компоновки: равномерная и несимметричная.

Благодаря такой систематизации существенно сокращается количество расчетов, выполняемых разработчиком вручную. Выбор схемы расположения штанг и шарниров на платформе и основании позволяет реализовать конкретный алгоритм задания исходных данных и расчета геометрических параметров механизма, заложенный в шаблоне, соответствующем данной компоновочной схеме.

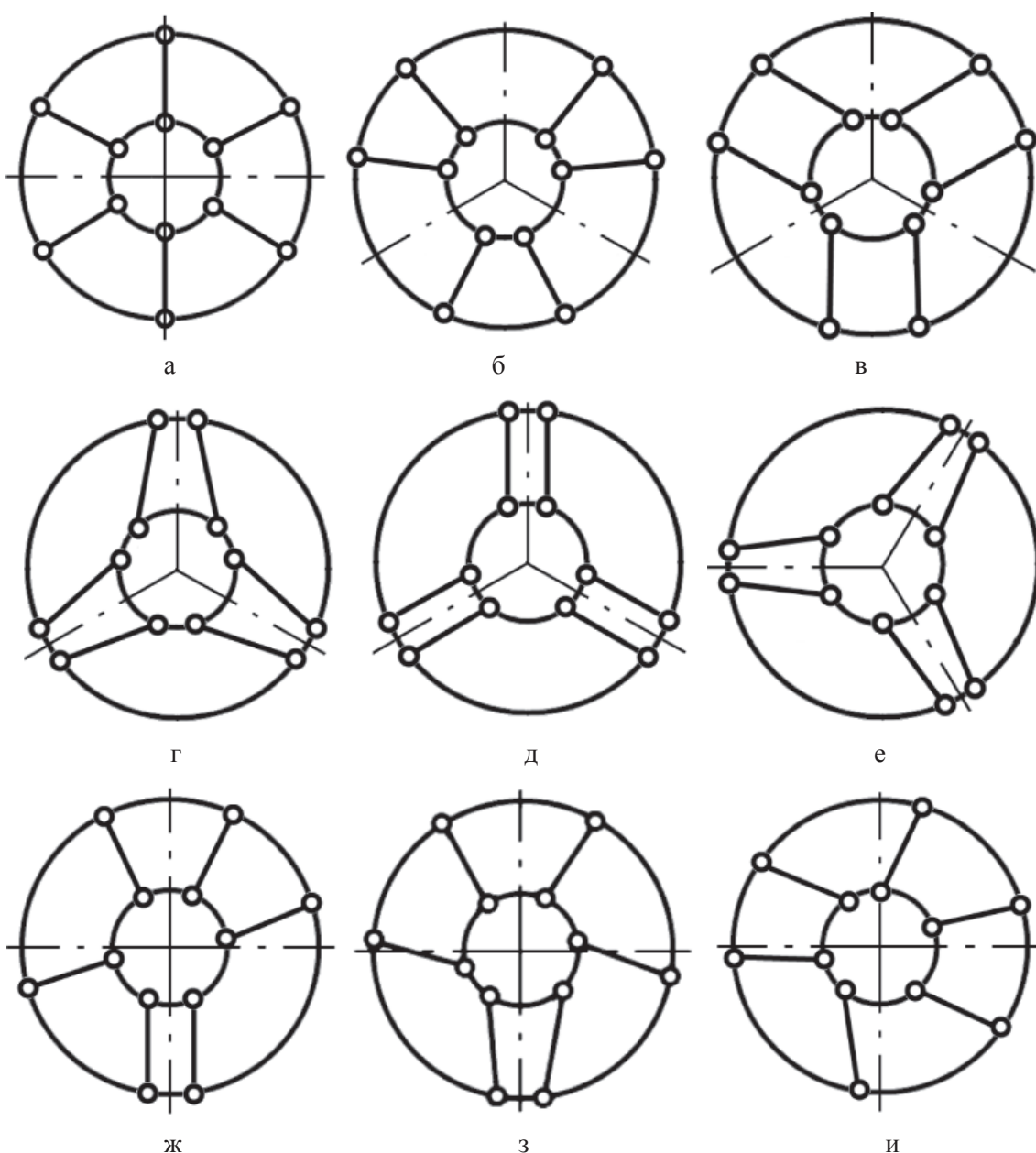


Рис. 1. Схемы МПС

На рис. 2 представлены выделенные компоновочные схемы с индивидуальными наборами исходных данных для расчетов. Использование индивидуальных шаблонов позволяет задавать минимум исходных значений при проектировании. Например, для компоновочной схемы, показанной на рис. 2, б, можно задать расстояние между штангами на основании L_o , а все остальные параметры, указанные на рисунке, автоматически рассчитаются по заданному в шаблоне алгоритму. Иначе можно задать значение первого угла на основании 1_o и тогда исходя из него все остальные параметры, указанные на рисунке, также будут рассчитаны автоматически. Аналогично рассчитываются углы на подвижной платформе. При этом в алгоритм заложены взаимные проверки корректности вводимых и рассчитываемых параметров на основании и подвижной платформе.

Для удобства каждой из представленных схем условно присвоено собственное название. Так, компоновочная схема, показанная на рис. 1, а, названа «равномерной». Схема на рис. 1, г названа «ферменной» за ее сходство с одноименной строительной конструкцией. Схема с параллельным расположением приводных штанг в каждой паре (рис. 1, д) названа «попарной».

Симметричное размещение штанг в механизме (рис. 1, а–е) может быть реализовано в бесконечном множестве вариантов. В качестве обобщающего примера симметричного расположения штанг была выбрана компоновочная схема, представленная на рис. 1, б, которую условно назвали «симметричной». При выборе в программе симметричной схемы могут быть реализованы все варианты симметричных структур компоновочных схем.

Схема, показанная на рис. 1, д, обобщает множество вариантов несимметричного расположения штанг и условно названа «асимметричной». С ее помощью могут быть реализованы все возможные компоновки, как симметричные, так и несимметричные. По сути, все остальные схемы являются частными случаями несимметричной.

Описание программного обеспечения

На рис. 3 представлена вкладка «Расчет» окна разработанного ПО. Она визуально разделена на три горизонтальных области.

1. Область «Расчет длин штанг» содержит переключатели для выбора компоновки штанг, поля ввода для задания радиуса основания, радиуса платформы, количества штанг и других параметров механизма, а также для задания размеров технологического рабочего пространства МПС.

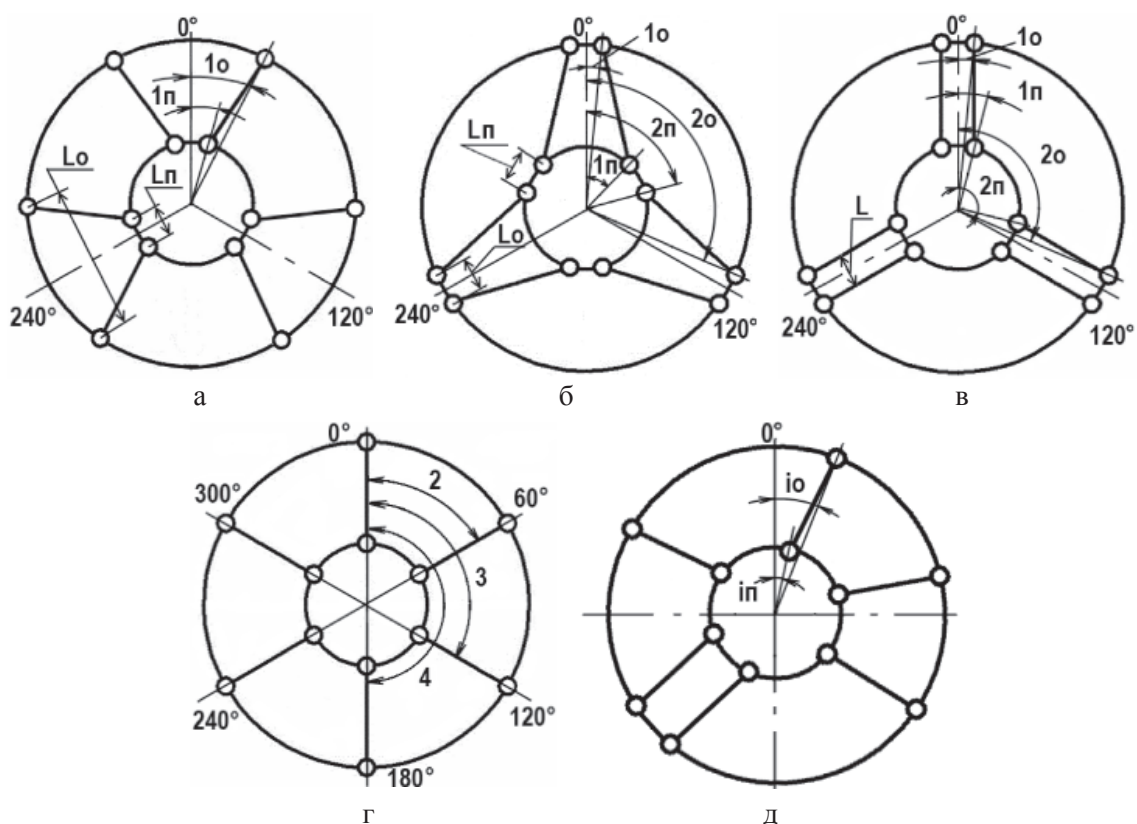


Рис. 2. Компоновочные схемы механизмов параллельной структуры: 1, 2, 3, 4, 1_o , 2_o , 1_n , 2_n , i_o , i_n обозначены углы размещения шарниров на основании и подвижной платформе; L , L_o , L_n – расстояния между шарнирами

Проектирование механизмов параллельной структуры

Расчет | Построение | Чертежи

Радиус основания R <input type="text" value="160"/>	R/r <input type="text" value="2"/>	Радиус платформы r <input type="text" value="80"/>	Количество штанг <input type="text" value="6"/>	Угол расхождения штанг, град. <input type="text" value="11"/>	Размер технологического рабочего пространства ширина Sh <input type="text" value="100"/>
Компоновка штанг <input checked="" type="radio"/> Ферменная <input type="radio"/> Попарная <input type="radio"/> Равномерная <input type="radio"/> Симметричная <input type="radio"/> Асимметричная		Радиус шарнира на основании r_шо <input type="text" value="20"/>	Расстояние между шарнирами на основании Lo <input type="text" value="50"/>		длина D <input type="text" value="100"/>
		Радиус шарнира на платформе r_шп <input type="text" value="10"/>	на платформе Ln <input type="text" value="30.01"/>		высота V <input type="text" value="100"/>
			на основании и платформе L <input type="text" value="40"/>		количество точек <input type="text" value="100"/>

Расположение шарниров на основании		Расположение шарниров на платформе		Угол поворота платформы, град.
номер шарнира	угол от 0 до шарнира	номер шарнира	угол от 0 до шарнира	x
1	<input type="text" value="8.99"/>	1	<input type="text" value="49.19"/>	<input type="text" value="0"/>
2	<input type="text" value="111.01"/>	2	<input type="text" value="70.81"/>	<input type="text" value="0"/>
3	<input type="text" value="128.99"/>	3	<input type="text" value="169.19"/>	<input type="text" value="0"/>
4	<input type="text" value="231.01"/>	4	<input type="text" value="190.81"/>	
5	<input type="text" value="248.99"/>	5	<input type="text" value="289.19"/>	
6	<input type="text" value="351.01"/>	6	<input type="text" value="310.81"/>	

Расчет длин штанг

Высота установки шарниров на платформе	<input checked="" type="radio"/> Сферический шарнир <input type="radio"/> Карданный шарнир	Размер области расчета	Длины штанг
1 <input type="text" value="0"/>	Параметр на основании e1 <input type="text" value="1"/>	Z <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2000"/>	Lmin <input type="text" value="831.85"/>
2 <input type="text" value="0"/>	Диаметр штанги на основании d1 <input type="text" value="26"/>	Y <input type="text" value="-1000"/> <input type="text" value="1000"/>	Lmax <input type="text" value="948.49"/>
3 <input type="text" value="0"/>		X <input type="text" value="-1000"/> <input type="text" value="1000"/>	
4 <input type="text" value="0"/>	Параметр на платформе e <input type="text" value="1"/>	Диаметр штанги на платформе d <input type="text" value="10"/>	
5 <input type="text" value="0"/>		Расстояние между основанием и платформой h <input type="text" value="827.99"/>	
6 <input type="text" value="0"/>			

Расчет рабочего пространства

Объем рабочего пространства Максимальная площадь сечения

Длина обработки	Шаг резьбы	Максимальный радиус основания	Количество шагов
Lx <input type="text" value="10"/>	t <input type="text" value="2"/>	Rmax <input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="10"/>
Ly <input type="text" value="10"/>	Подача, м/с		
Lz <input type="text" value="10"/>	s <input type="text" value="500"/>		

Расчет зависимостей длин штанг

Рис. 3. Вкладка «Расчет» окна ПО

Технологическим рабочим пространством названа ограниченная область общего рабочего пространства МПС, в которой происходят все манипуляции рабочего органа, связанные с формообразованием обрабатываемой заготовки [2, 4].

2. Область «Расчет рабочего пространства» содержит переключатели для выбора типа шарнира, поля ввода для задания высоты установки шарниров на платформе, размера области расчета, длин штанг, параме-

тра на основании, параметра на платформе, диаметра штанги на основании, диаметра штанги на платформе, поля для вывода расстояния между основанием и платформой, объема рабочего пространства, максимальной площади сечения.

3. Область «Расчет зависимостей длин штанг» содержит поля ввода для задания длины обработки, шага резьбы, подачи, максимального радиуса основания, количества шагов.

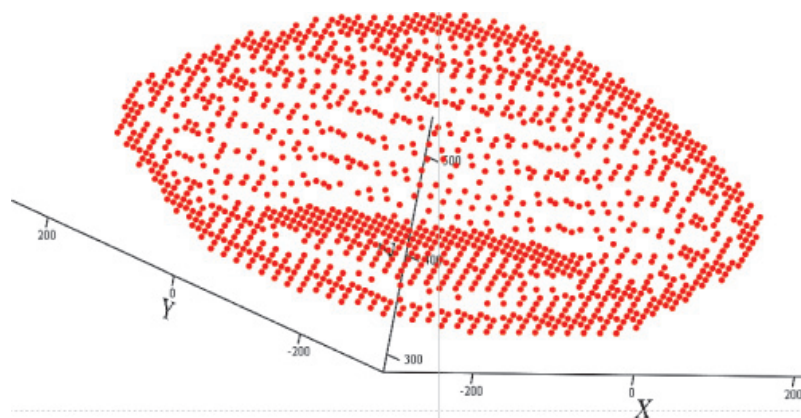


Рис. 4. Контур рабочего пространства

Во вкладке «Построение» производится построение области рабочего пространства, проектируемого МПС, а также графических зависимостей для кинематического анализа механизма.

Во вкладке «Чертежи» представлены поясняющие рисунки со схематическим изображением параметров МПС.

Результаты работы программы выводятся на лист книги Excel (все входные и расчетные данные, в том числе координаты точек рабочего пространства, графики сечений рабочего пространства, графики зависимостей длин штанг от радиуса основания и угла наклона шарнира основания) и в лист MathCAD (трехмерное изображение облака точек рабочего пространства (рис. 4) и его проекций на оси координат).

Заключение

Проведена систематизация механизмов параллельной структуры для формализации алгоритмов расчетов их геометрических параметров.

Разработана программа для ЭВМ с целью уменьшения временных затрат при проектировании механизмов параллельной структуры металлообрабатывающих станков с параллельной кинематикой за счет частичной автоматизации труда проектировщика.

Исходным языком программирования является Visual Basic. Среда разработки Visual Basic for Application. Для функционирования данной программы необходима операционная система Windows XP или выше, ПО Microsoft Office Excel 2007 и выше, MathCAD 11 или выше.

Список литературы

1. Прогрессивное машиностроительное оборудование: коллективная монография / В.В. Ерзуков, А.Г. Ивахненко, Е.О. Ивахненко, А.В. Киричек, В.В. Куц, А.В. Морозов, Л.А. Рыбак, Д.Л. Соловьев, М.А. Федоренко, А.В. Чичварин, В.П. Яглинский; под ред. А.В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011 с. : ил.
2. Щелкунов Е.Б. Исследование взаимосвязи размеров рабочего пространства металлорежущего станка с параллельной кинематикой с геометрическими параметрами параллельного механизма / Е.Б. Щелкунов, С.В. Виноградов, М.Е. Щелкунова и др. // Современные направления теорети-

ческих и прикладных исследований '2013: сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции. – Вып. 1. Т. 2. – Одесса: КУПРИЕНКО. 2013 – ЦИТ:113-0265. С. 36–42.

3. Щелкунов Е.Б. Механизмы параллельной структуры в металлорежущих станках / Е.Б. Щелкунов, С.В. Виноградов, М.Е. Щелкунова и др. // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2012. – № 4. – С. 52–61.

4. Щелкунов Е.Б. Об оценке компоновочных решений металлообрабатывающих станков с параллельной кинематикой / Е.Б. Щелкунов, С.В. Виноградов, М.Е. Щелкунова // Актуальные проблемы в машиностроении: материалы первой международной научно-практической конференции / под ред. В.Ю. Скибы. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 588 с. С. 242–244.

5. Merlet J.P. Parallel Robots (Solid Mechanics and Its Applications. – Berlin: Springer, 2006. – 394 p.

References

1. Progressivnoe mashinostroitelnoe oborudovanie: kolektivnaja monografiya / V.V. Erzhukov, A.G. Ivahnenko, E.O. Ivahnenko, A.V. Kirichek, V.V. Kuc, A.V. Morozov, L.A. Rybak, D.L. Solovjev, M.A. Fedorenko, A.V. Chichvarin, V.P. Jaglinskij; pod red. A.V. Kiricheka. M.: Izdatelskij dom «Spektr», 2011 s. : il.
2. Shhelkunov E.B. Issledovanie vzaimosvjazi razmerov rabocheho prostranstva metallorzhushhego stanka s parallelnoj kinematikoju s geometricheskimi parametrami parallelnogo mehanizma / E.B. Shhelkunov, S.V. Vinogradov, M.E. Shhelkunova i dr. // Sov-remennye napravlenija teoreticheskij i prikladnyh issledovanij 2013: sbornik nauchnyh trudov SWorld. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Vyp. 1. T. 2. Odessa: KUPRIENKO. 2013 CIT:113-0265. pp. 36–42.
3. Shhelkunov E.B. Mehanizmy parallelnoj struktury v metallorzhushhhij stankah / E.B. Shhelkunov, S.V. Vinogradov, M.E. Shhelkunova i dr. // Uchenye zapiski Komsomolskogo-na-Amure gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Nauki o prirode i tehnike. Kom-somolsk-na-Amure: GOUVPO «KnAGTU», 2012. no. 4. pp. 52–61.
4. Shhelkunov E.B. Ob ocenke komponovocznyh reshenij metalloobrabatyvajushhhij stankov s parallelnoj kinematikoju / E.B. Shhelkunov, S.V. Vinogradov, M.E. Shhelkunova // Aktualnye problemy v mashinostroenii: materialy pervoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii / pod red. V.Ju. Skiby. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2014. 588 p. pp. 242–244.
5. Merlet J.P. Parallel Robots (Solid Mechanics and Its Applications. Berlin: Springer, 2006. 394 p.

Рецензенты:

Козин В.М., д.т.н., профессор, зав. лабораторией механики деформирования, ФГБУН «Институт машиноведения и металлургии» Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре;

Черномас В.В., д.т.н., профессор, главный инженер проекта ООО «ТехКомплект», филиал, г. Комсомольск-на-Амуре.