

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРИНЦИПОВ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

© 2019 Б.М. Горшков, Н.С. Самохина, Н.М. Бобровский, Ю.В. Полянский, Л.В. Худобин, А.В. Савельев, В.В. Епифанов, А.Ф. Денисенко

Поволжский государственный университет сервиса, г. Тольятти

Статья поступила в редакцию 10.10.2019

Наибольшее распространение получили производственные системы, такие как автоматические линии (АЛ) и гибкие производственные системы (ГПС) обладающие рядом особенностей, не позволяющих им соответствовать современным требованиям. Автоматические линии, обладая высокой производительностью (массовое производство) при переходе на выпуск новой номенклатуры изделий требуют значительных капиталовложений и сопровождаются длительными простоями. Гибкие производственные системы обладают меньшей производительностью (серийное производство) по сравнению с автоматическими линиями, но имеют значительную гибкость при переходе на выпуск новой продукции. Однако, высокий уровень гибкости, зачастую является избыточным и характеризует высокую стоимость ГПС. В этой связи, в настоящее время в машиностроении большое внимание уделяется разработке перекомпоновываемых производственных систем (ППС), систем способных выпускать продукцию с производительностью массового производства и гибкостью ГПС. Одной из наиболее важных и мало исследованных областей теории создания перекомпоновываемых производственных систем в России и за рубежом, являются вопросы обеспечения и определения показателей надежности ППС.

Ключевые слова: перекомпоновываемая производственная система, модульная система, перекомпоновываемая рабочая позиция, надежность ППС.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ M-TRAN II

M-TRAN (Рисунок 1 [1]), является модульной реконфигурируемой системой роботов, которые могут совершать различные 3-мерные движения, и соединяться в конструкции различного назначения. В целях реализации сложных

Горшков Борис Михайлович, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Сервис технических и технологических систем» ПВГУС.

Самохина Наталья Станиславовна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Информационный и электронный сервис», ПВГУС.

Бобровский Николай Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства» ТГУ.

E-mail: bobri@yandex.ru

Полянский Юрий Вячеславович, доктор технических наук, президент УлГУ, заведующий кафедрой математического моделирования технических систем УлГУ.

Худобин Леонид Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» УлГУ.

Савельев Александр Викторович, аспирант кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства» ТГУ.

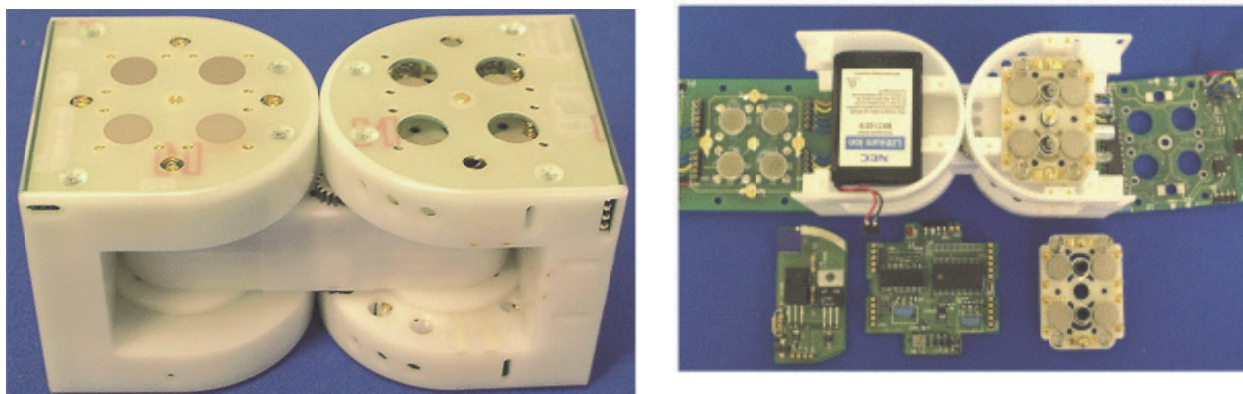
Епифанов Вячеслав Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры автомобиля УлГУ.

Денисенко Александр Федорович доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы» СамГТУ.

трансформаций и уникальных движений конструкции система имеет ряд особенностей. Это надежные соединительные/разъединительные механизмы, встроенные мульти-компьютеры, высокая скорость сообщения между модулями, малое потребление энергии, высокоточное управление двигателями.

Важным свойством M-TRAN является простота конструкции, т.е. небольших размеров модули и простые соединительно-разъединительные механизмы.

Модуль состоит из трех компонентов: два полуцилиндрических блока и электродвигатель между ними. Каждый полуцилиндрический блок может изменять угол от -90 до +90 градусов относительно друг друга автоматически. Два модуля могут соединиться, контактируя своими соединительными плоскостями. Различные трехмерные структуры могут образовываться из большого количества модулей. Форма 3D структуры может быть изменена посредством изменения пространственного положения отдельных модулей, например, за счет освобождения некоторых соединений, изменения углов, переподключения модулей. Для надежности межмодульного соединения соединительные механизмы должны быть достаточно прочными, и простыми в функционировании. Также соединение должно производиться достаточно быстро и надежно.



а) б)
Рис. 1. Конструкция робототехнической системы MTRAN – II

Соединительные механизмы необходимы для реализации реконфигурации и совершения перемещения в пространстве всей системы или ее отдельных блоков, состоящих из нескольких узлов. Автономная работа осуществляется с применением аккумуляторов. Один полуцилиндрический блок модуля содержит активные элементы соединительного механизма, второй – пассивные элементы (Рисунок 2). Каждый полуцилиндрический блок модуля имеет три соединительные поверхности. Межмодульное соединение MTRAN происходит за счет электромагнитных сил. Цепь питания, аккумулятор и основная плата процессора находятся в пассивном блоке модуля. Питание от одного аккумулятора достаточно для питания двух двигателей и для совершения межмодульного соединения.

Центральная часть модуля содержит два мотор-редуктора, чтобы поворачивать пассивный и активный блоки, и акселерометр для измерения углов. Радиосхема электропривода содержит микропроцессор в этой же части с реализацией контроля позиционирования. Крутящий момент электродвигателя и электромагнитная сила соединения достаточны, чтобы поддерживать и поднимать два других модуля за исключением некоторых случаев, когда все три модуля находятся в горизонтальном положении.

Тем не менее, имеется ряд недостатков: недостаточная сила соединительного механизма; малая продолжительность автономной работы; отсутствие у каждого блока модуля активных и пассивных элементов соединительных механизмов, что уменьшает гибкость системы модулей; недостаточная информативность и дальность расстояния управления; выполнения задач в лабораторных условиях.

Для перекомпоновки рабочей позиции преобразование компоновки происходит одновременно с изменением структурных, компоновочных, и технико-эксплуатационных параметров. Преобразование ПРП происходит за счет управления входными параметрами и выходными технико-эксплуатационными параметрами, что характеризует управление гибкостью по всем технико-эксплуатационным параметрам [2-10].

Для перекомпоновки производственной системы (ППС) структурная гибкость характеризует количественное, качественное изменение и частоту изменения состава автоматически сменных узлов и модулей, межэлементных и межагрегатных связей перекомпоновки рабочей позиции. Гибкость изменения компоновки определяется количеством исполнительных узлов и агрегатов на различных ярусах, сменяемостью их пространственного расположения,

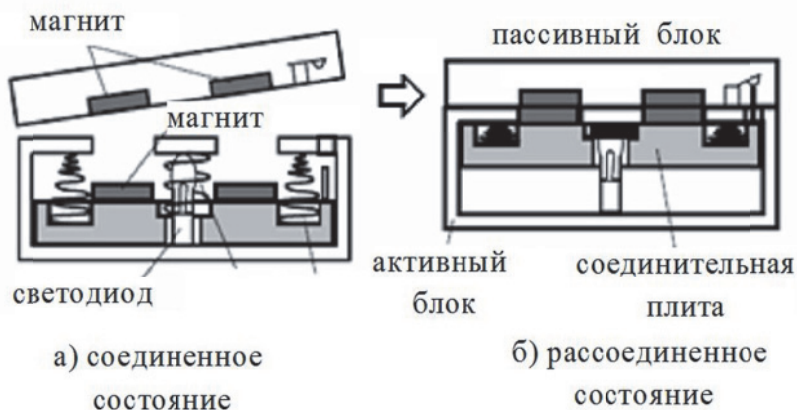


Рис. 2. Принцип действия соединительного механизма MTRAN - II

приводящих к изменению компоновки рабочей позиции ППС.

В условиях обеспечения структурной гибкости и гибкости по компоновке реализуется непрерывный процесс управления преобразованием и функционированием перекомпоновочной рабочей позиции в процессе эксплуатации.

Способность видоизменения структуры и компоновки с возможностью смены или видоизменения функций узлов определяет гибкость ППП по признаку структуры и компоновки, что соответственно отражает также и гибкость технологического процесса.

Изменение структуры и компоновки приводит к изменению технико-эксплуатационных параметров, данные свойства позволяют увеличить гибкость по номенклатуре и объему изготавливаемых изделий, гибкость по регулированию и переналадке, гибкость по методу и параметрам обработки и другие [2-10].

В отличие от автоматических производственных систем с жесткой межагрегатной связью, перекомпоновочные производственные системы не имеют постоянного значения гибкости системы, что определяет возможность ППС преобразовывать компоновку, структуру, управление и организацию производства оптимально под необходимые требования на определенный период эксплуатации.

2. ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Проблема надежности производственных систем – это проблема создания высокопроизводительных автоматических систем машин с малыми потерями производительности, с минимальным количеством обслуживающих и ремонтных рабочих [11-20]. Несмотря на массу исследовательских работ и результатов, посвященных проблеме надежности производственных систем, вопросы концепции надежности производственных систем продолжают развиваться. При создании более совершенных производственных систем и их компоновочных узлов возрастают требования обеспечения надежности при разработке современного оборудования. Это связано с конструктивным усложнением современных производственных систем, с расширением их функционального назначения, и увеличением интенсивности работы в условиях эксплуатации [11, 21, 22].

Положительные результаты достигнуты в разработке расчетных методов, позволяющих еще на стадии проектирования прогнозировать уровень надежности в работе вновь соз-

даваемого оборудования [11, 23-25]. В данных методах особое значение имеют исследования работоспособности действующих производственных систем, что позволяет выявить общие закономерности, определить влияние технологического, конструктивного и структурного совершенствования производственных систем на их надежность, определить надежность наиболее распространенных типовых механизмов, устройств и других элементов.

Расчеты надежности производственных систем базируются, в первую очередь, на изучении влияния надежности на технико-эксплуатационные показатели [11]. Это, прежде всего, касается обеспечения параметрической и эксплуатационной надежности. Низкая надежность производственной системы означает снижение количества выпускаемой продукции, увеличение количества обслуживающего персонала и ремонтных затрат, снижение технического ресурса и долговечности системы.

3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕКОМПОНУЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Для обеспечения надежности ППП требуется:

1. Обеспечить продолжительную среднюю наработку. Для решения данной задачи необходимо: разработать конструкцию ППП, обеспечивающую продолжительную среднюю наработку; разработать метод определения безотказности ППП.

2. Обеспечить минимальную продолжительность простоя ППП в процессе автоматизации замены сменных узлов или при смене номенклатуры обрабатываемых изделий. Для реализации необходимо иметь возможность решить задачу автоматической замены узлов ППП и разработать метод определения показателей ремонтпригодности ППП.

3. Используя свойство перекомпоновочности, задать набор автоматически сменных узлов, действующих на ППП, которые обеспечивают выполнение требуемых технико-эксплуатационных показателей.

Теоретические исследования по разработке метода обеспечения надежности ППП включают исследования существующих методов расчета надежности производственных систем и имитационное моделирование показателей надежности ППП. Имитационное моделирование позволяет получить результаты для сравнения показателей надежности перекомпоновочной рабочей позиции и рабочей позиции производственной системы жесткой компоновки. Исследования перекомпоновочных производственных систем осуществляются на основе лабораторных исследований в связи с отсутствием реального

образца перекомпоуемой рабочей позиции. Экспериментальные исследования перекомпоуемой рабочей позиции основываются на получении реальных данных натурального эксперимента по надежности, а экспериментальные исследования, связанные с получением показателей надежности ПРП потребовало проведение эксперимента на основе имитационного моделирования.

Разработка методов проведения исследований работоспособности и безотказности ПРП осуществляются на основе трудов ученых МГТУ им. Баумана Л. И. Волчкевича, Г. А. Шаумяна и других [11, 26-28]. Был разработан метод расчета работоспособности с учетом автоматизации смены узлов РП и возможности многономенклатурной обработки деталей.

4. ВЫВОДЫ

1. Проведен аналитический обзор и выявлены слабые и сильные стороны в вопросах обеспечения надежности как для наиболее перспективных технических решений, так и применительно для реконфигурируемых производственных систем.

2. Изучена специфика осуществления свойства перекомпоуемости на примере рабочей позиции автоматической.

3. На основе анализа методов обеспечения надежности определены принципы функционирования перекомпоуемой рабочей позиции.

4. Показана необходимость исследования вопросов надежности перекомпоуемых рабочих позиций для повышения эффективности выполняемых технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Murata, S., Kakomura, K., Kurokawa H.*, 2008. Toward a scalable modular robotic system - Navigation, docking, and integration of M-TRAN // *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol 14-4, pp. 56-63.
2. *Царев, А.М.* Автоматические линии, средства автоматизации загрузки и транспортирования валов / А. М. Царев. – Тольятти: ТолПИ, 1992. – 89 с.
3. *Царев, А.М.* Перекомпоуемые производственные системы – перспективное направление развития машиностроения / А. М. Царев. - Тольятти : ТГУ, 2007. – 156 с.
4. *Царев, А.М.* Принципы построения модульных перестраиваемых систем в машиностроении / А. М. Царев // в кн.: *Роботы и гибкие произв. системы*. - Куйбышев: Куйбыш. книжн. изд.-во, 1987. - С. 39-42.
5. *Царев, А.М.* Гибкие производственные системы и тенденции развития / А.М. Царев. – М.: Вестник МГТУ, 1995. - №3. - С. 21-24.
6. *Царев, А.М.* Перекомпоуемые производственные системы в развитии современного машиностроительного производства / А.М. Царев // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2004. - №1. - С. 3-14.
7. *Царев А.М.* Вопросы разработки классификационных признаков базирования и обработки деталей на многогранных носителях призматической формы // *Международный журнал: Проблемы машиностроения и автоматизации*, Москва, 2011. – С. 94 – 106.
8. *Царев А.М.* Поиск резервов увеличения жизненного цикла автоматизированных систем машин на основе создания и применения перекомпоуемых производственных систем // *Международный журнал: Проблемы машиностроения и автоматизации*, Москва, 2011. – С. 26 – 37.
9. *Царев А.М.* Классификационные признаки перекомпоуемых систем машин с проявлениями эффекта парадокса // *Международный журнал: Проблемы машиностроения и автоматизации*, Москва, 2014. – С. 11 – 29.
10. *Царев А.М.* Основные положения метода распределенного базирования и обеспечения точности базирования автоматически сменных узлов на рабочих позициях перекомпоуемых производственных систем // *Международный журнал: Проблемы машиностроения и автоматизации*, Москва, 2011. – С. 26 – 37.
11. *Волчкевич, Л.И.* Надежность автоматических линий - М.: Машиностроение, 1969. - 309 с.
12. *Пестрецов, С.И.* Надежность технологического оборудования: лабораторные работы / С.И. Пестрецов, В.Я. Борщев, В.Н. Долгунин. - Тамбов: Изд-во Тамб. Гос. Ун-та, 2005 - 36 с.
13. *Суслов А.Г., Говоров И.В.* Организационно-технологическое обеспечение оптимальной долговечности изделий машиностроения // *СТИН*. 2010. № 3. С. 4-8.
14. *Суслов А.Г.* Обеспечение конкурентоспособности и качества изделий машиностроения // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. М., 2013. № 2. С. 3-6.
15. *Хазов, Б. Ф., Дидусев, Б. А.* Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования / Б. Ф.Хазов, Б. А. Дидусев. – М.: Машиностроение, 1986 – 224 с.
16. *Хазов, Б.Ф., Моисеев, Ж.Ю.* Надежность системы: изготовляемое изделие: Учебное пособие / Б.Ф. Хазов, Ж. Ю. Моисеев. – Тольятти: ТолПИ, 1996 - 28 с.
17. *Хазов, Б.Ф.* Надежность технологических систем и машин: Учебное пособие / Б. Ф. Хазов. – Тольятти: ТолПИ, 1995 – 110 с.
18. *Хазов, Б.Ф.* Управление надежностью машин и технологических систем на этапах их жизненного цикла. Ч. 1. Этапы разработки технологического задания, технологического предложения, технического проекта: учеб. Пособие / Б. Ф. Хазов. - М.: Изд-во «Машиностроение-1», 2007 – 184 с.
19. *Шишмарев, В.Ю.* Надежность технических систем: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.Ю. Шишмарев. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 304 с.
20. *Юрин, В.Н.* Повышение технологической надежности станков / В.Н. Юрин. - М.: Машиностроение, 1981. - 78 с.
21. *Байхельт, Ф., Франкен, П.* Надежность и техническое обслуживание / Ф. Байхельт, П. Франкен - М.: Радио и связь, 1988. - 392 с.

22. Власов, С.Н., Черпаков, Б.И. Справочник наладчика агрегатных станков и автоматических линий / С.Н. Власов, Б.И. Черпаков. - 2-е изд., испр. - М.: Высшая школа: Академия, 1999. - 384 с.
23. Матвеевский, В.Р. Надежность технических систем. Учебное пособие / В.Р. Матвеевский. - М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2002. - 113 с.
24. Надежность машиностроительной продукции: Практическое руководство по нормированию, подтверждению и обеспечению. - М.: Издательство стандартов, 1990. - 328 с.
25. Надежность технических систем. Справочник / под ред. И. А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1986. - 608 с.
26. Основы надежности металлорежущих станков и измерительных приборов. - Минск: Высшая школа, 1974. - 184 с.
27. Основы надежности машин: Учебное пособие для вузов. - Часть I / И. Н. Кравченко, В. А. Зорин, Е. А. Пучин, Г. И. Бондарева. - М.: Изд-во, 2007. - 224 с.
28. Основы надежности машин: Учебное пособие для вузов. - Часть II / И. Н. Кравченко, В. А. Зорин, Е. А. Пучин, Г. И. Бондарева. - М.: Изд-во, 2007. - 260 с.
29. Система управления пневматическим манипулятором МП-11 на базе микроконтроллера ARDUINO / А.В. Маслова, Д.Г. Токарев, Р.А. Туров, А.А. Шевцов // Мехатроника, автоматика и робототехника, 2018. - №2. - С. 86-89.
30. Горшков Б.М., Токарев Д.Г., Маршанская О.В. Разработка и исследование динамической модели вертикального координатно-расточного станка // Вестник Самарского государственного технического университета. 2008. - №2. - С. 127-132.
31. Патент РФ 2003103750/02, 07.02.2003.
32. Устройство управления подвижным узлом станка // Патент России № 2280543. 2003 / Горшков Б.М., Галицков С.Я., Денисенко А.Ф. [и. др.]

ANALYSIS OF RESEARCH IN THE FIELD OF RECONFIGURED ROBOTS SYSTEMS AND THEIR PRINCIPLES OF FUNCTIONING

© 2019 B.M. Gorshkov, N.S. Samokhina, N.M. Bobrovsky, Yu.V. Polyanskov,
L.V. Khudobin, A.V. Saveliev, V.V. Epifanov, A.F. Denisenko

Volga Region State University of Service, Togliatti

The most widely used production systems, such as automatic lines (AL) and flexible production systems (FPS), have a number of features that do not allow them to meet modern requirements. Automatic lines, having high productivity (mass production) when switching to the production of a new product range, require significant capital investments and are accompanied by long downtimes. Flexible production systems have lower productivity (mass production) in comparison with automatic lines, but have significant flexibility when switching to new products. However, a high level of flexibility is often excessive and characterizes the high cost of FPS. In this regard, at present, in mechanical engineering, much attention is paid to the development of reconfigurable production systems (RPS), systems capable of producing products with mass production productivity and flexibility of FPS. One of the most important and little studied areas of the theory of creating reconfigurable production systems in Russia and abroad is the issues of ensuring and determining PPP reliability indicators.

Keywords: reconfigurable production system, modular system, reconfiguration work position, RPP reliability.

Boris Gorshkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical and Technological Systems Service, Volga Region State University of Service.

Natalya Samokhina, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Information and Electronic Service, Volga Region State University of Service.

Nikolai Bobrovsky, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Equipment and Technologies of Engineering Production, TSU. E-mail: bobri@yandex.ru

Yuri Polyanskov, Doctor of Technical Sciences, Professor, President of UISU, Head of the Department of Mathematical Modeling of Technical Systems of UISU.

Leonid Khudobin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Engineering Technology, UlSTU.

Alexander Saveliev, Graduate Student of the Department «Equipment and Technologies of Engineering Production» TSU.

Vyacheslav Epifanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automobiles, UlSTU.

Alexander Denisenko Doctor of Technical Sciences, professor of the department «Automated Machine and Tool Systems of Samara State Technical University.