

Формирование структуры переналаживаемых производственных систем, требования к основным подсистемам

В статье рассматриваются основополагающие принципы построения структуры переналаживаемых производственных систем (ППС). Приводится подробное описание требований к основным подсистемам ППС учитывающие современные цели и тенденции развития производств в целом.

Ключевые слова: переналаживаемые производственные системы, информационно-управляющая система, автоматизированное производство, планирование производства.

Основными целями создания переналаживаемых производственных систем (ППС) являются резкое повышение производительности труда в процессе изготовления единичной и мелкосерийной продукции, быстрота реагирования на изменяющиеся требования заказчиков, высокие темпы роста производства при нарастающем дефиците рабочей силы, повышение рентабельности и уменьшение объемов незавершенного производства, резкое повышение качества изготавливаемой продукции и устранение ошибок и нарушений технологических режимов, неизбежных при ручном труде, решение социальных вопросов (освобождение человека от малоквалифицированного труда, улучшение условий труда и устранение трудоемких и тяжелых операций) [1-7].

Конечной целью создания и использования ППС является повышение фондоотдачи оборудования, увеличение коэффициента сменности его работы, значительное сокращение длительности технологического цикла.

Переналаживаемая производственная система

Переналаживаемая производственная система – это производственная единица (линия, участок, цех, завод), состоящая из производственных компонентов, модулей и макромодулей, работа которых координируется как единое целое многоуровневой системой управления.

В состав дискретной технологической системы могут входить организационная, исполнительная и информационно-управляющая системы (рис. 1) обеспечивающие выполнение производственной программы (по количеству и номенклатуре) с заданным критерием качества.

Организационная система (ОС) ППС есть совокупность средств и методов, определяющих цели



А. В. Капитанов,
д. т. н., профессор, доцент, кафедра
автоматизированных систем обработки
информации и управления, Московский
государственный технологический
университет «СТАНКИН»
av.kapitanov@stankin.ru

и критерии функционирования ППС и обеспечивающих его работу в различных ситуациях. Эта система обеспечивает взаимодействие ППС с АСУП, автоматизированной системы научных исследований (АСНИ), САПР, автоматизированной системой технологической подготовки производства (АСТПП) и службами производства – отделом главного механика (ОГМ), материально-техническим складом (МТС), центральным инструментальным складом (ЦИС) (рис. 2).

Исполнительная система (ИС) ППС обеспечивает выполнение всех требуемых операций согласно маршрутным технологическим процессам и состоит из совокупности всех видов производственных компонентов, гибких модулей и макромодулей. Производственными компонентами ППС являются автоматический склад, транспортная система, участки технического контроля, комплектования инструмента, оснастки, заготовок и др. Модули ППС – это технологическое оборудование с ЧПУ: программируемые автоматы, станки, автооператоры, контрольно-измерительные устройства и др. Макромодули состоят из нескольких интегрированных единиц оборудования, например, станок – робот – устройство контроля.

Информационно-управляющая система (ИУС) предназначена для обеспечения взаимодействия ППС с АСУП, АСНИ, САПР, АСТПП и элементов ППС



Рис. 1. Структура управляющего комплекса ППС

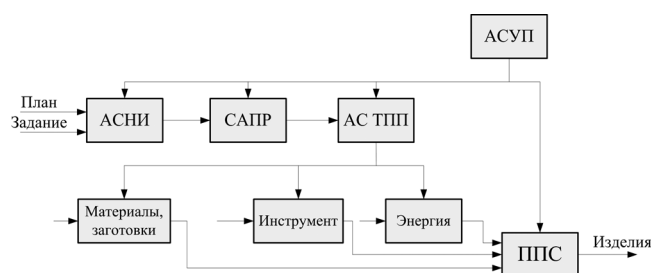


Рис. 2. Структура локальной вычислительной сети управляющего комплекса ППС

между собой в соответствии с заданными маршрутными, технологическими процессами в различных производственных ситуациях при выполнении плана. ИУС – это многоуровневая вычислительная система или сеть (рис. 3).

Автоматизированные системы (АСУП, АСНИ, САПР, АС ТПП) обеспечивают ППС технологической информацией и управляющими программами для всех элементов исполнительской системы. МТС, ЦИС, ОГМ и другие службы – заданный материальный поток предметов труда, инструмента и т. п.

Тип ППС и зависит от степени изменяемости целей, технологических операций и производственной среды. Малая их изменяемость обеспечивается жесткими системами. В табл. 1 приведена классификация различных производств по степени изменяемости цели, среды и технологических операций. Основное отличие ППС от уже существующих производств – наличие программно-управляемой, организационной, информационно-управляющей и исполнительной систем [8-13].

На рис. 4 приведена функциональная структура ППС, где ИУС представлена как двухуровневая система. Нижний уровень системы управляет отдельными видами оборудования и макромодулями, а верхний обеспечивает оперативное планирование и управление взаимодействием оборудования. Организационная система ППС использует комплекс персональных ЭВМ, миниЭВМ либо ЭВМ более высокого уровня управления. Выделяются также процессы локального управления оборудованием (ЛУО) и управление взаимодействием оборудования (УВО).

При управлении взаимодействием оборудования ППС с помощью ЭВМ могут решаться следующие задачи: синтаксический и семантический анализ и пере-

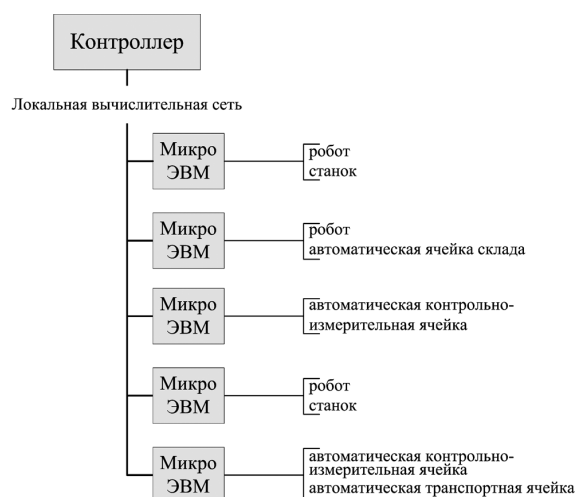


Рис. 3. Структура автоматизированного переналаживаемого производства

вод командных операторов технологического языка управления элементов ППС (модулем, макромодулем) в последовательность макрокоманд управления оборудованием; передача информации о нормальном или аварийном завершении выполнения макрокоманд и операций; обработка прерываний по нормальному или аварийному завершению выполнения микрокоманд и операций; анализ и управление надежностью функционирования элементов ППС; контроль выполнения оборудованием микрокоманд с помощью встроенной системы активного контроля; компенсация случайных сбоев оборудования; контроль и компенсация изменения размеров инструмента и систематических погрешностей оборудования (автоматическая подладка станка), тестирование оборудования; аварийный останов оборудования при нарушении границ рабочей зоны.

Пример информационного обмена между оборудованием и ЭВМ в процессе решения задач приведен на рис. 5. На рис. 5 обозначены: 1 – микрооперации; 2 – тесты оборудования; 3 – конец микроопераций; 4 – состояние оборудования; 5 – авария; 6 – коды операций; 7 – тесты миниЭВМ; 8 – состояние оборудования; 9 – тестовый ответ; 10 – конец операции.

В состав задач оперативного управления ППС могут входить загрузка суточного задания через локальную сеть связи (в виде программ выполнения множества технологических процессов), учет запол-

Таблица 1

Классификация различных производств по степени изменяемости цели, среды и технологических операций

Технологические операции	Цели управления			
	Неизменяемые		Изменяемые	
	Производственные системы			
	Стабильная	Изменяемая	Стабильная	Изменяемая
Неизменяемые	ОС, ИС, ИУС – жесткая (автоматические линии с жестким управлением)	ИУС – переналаживаемая (автоматические линии с гибким управлением)	ОС – переналаживаемая; ИС, ИУС – жесткие (переналаживаемые автоматические линии)	ОС, ИС – жесткие. ИУС – переналаживаемые автоматические линии с адаптивным управлением
Изменяемые	Жесткая, переналаживаемая	ОС – жесткая; ИС, ИУС – переналаживаемые (сборочные участки поточного производства)	ОС, ИС – переналаживаемые; ИУС – жесткая (гибкое автоматизированное производство)	ОС, ИС, ИУС – переналаживаемые (гибкое автоматизированное производство)

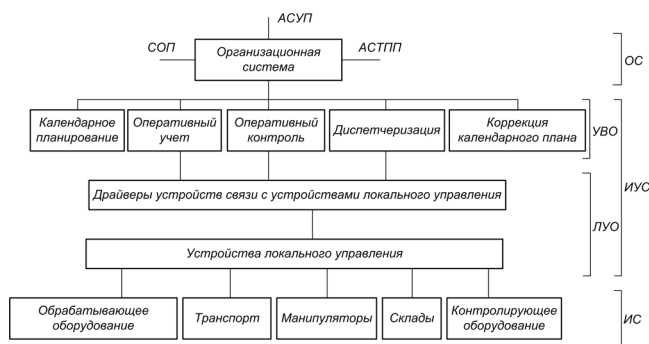


Рис. 4. Функциональная схема ППС

нения склада материалами, заготовками, оснасткой и инструментом, распределение транспортной системы и роботов-манипуляторов между различными технологическими процессами, диспетчерское управление выполнением технологических техпроцессов.

В состав задач обеспечения надежности функционирования ППС могут входить учет состояний модулей ППС по информации, получаемой с помощью встроенной ЭВМ (отработка прерываний), тестирование элементов сети ЭВМ, принятие решений по исключению аварийных модулей из технологических процессов (перераспределение технологических процессов по исправным модулям), обращение к оператору ППС в случае невозможности автоматического принятия решений по аварийным ситуациям, ведение журнала ППС по сбойным и аварийным ситуациям, учет готовой продукции, брака, незавершенного производства, израсходованного инструмента и т. д. за сутки, месяц, квартал, год, формирование и вывод отчетных документов, планирование квартальных, месячных, недельных и суточных заданий для ППС, расчет и выдача заявок на материалы, заготовки, инструмент, оснастку, тару в соответствии с квартальным, месячным, недельным или суточным планом работы ППС.

Анализ функционирования ППС и принятие решений осуществляются с помощью системы, включающей датчики состояния обрабатывающего оборудования, манипуляторов, инструмента и оснастки, которые располагаются непосредственно на перечисленных элементах и генерируют сигналы для встроенной или внешней ЭВМ.

Принятие решения по обнаружению и компенсации сбоев устройств управления, изменения размеров инструмента, систематических ошибок оборудования, по обеспечению безопасности целесообразно осуществлять с использованием встроенной или внешней ЭВМ.

Принятие решений в аварийных ситуациях, связанных с необходимостью исключения аварийной ячейки, перераспределения техпроцессов, осуществляется с использованием ЭВМ старшего уровня. В

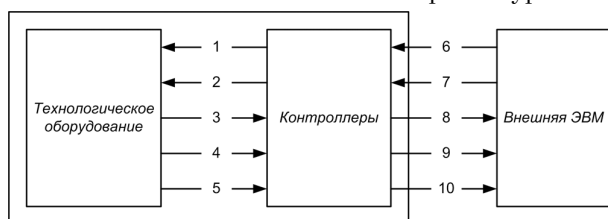


Рис. 5. Процесс информационного обмена между оборудованием и ЭВМ в процессе решения задач

особо сложных случаях для принятия решений привлекается оператор.

С помощью ЭВМ периодически производится тестирование подключенного к ней оборудования и датчиков.

Тестирование всех ЭВМ и локальной сети связи выполняется с помощью ЭВМ старшего ранга.

Средства измерений и контроля, используемые в ППС, должны объединяться в подсистему метрологического обеспечения. Перенастраиваемые автоматизированные производственные системы создаются на основе применения поставляемых промышленностью типовых автоматических модулей и автоматизированных технологических комплексов, объединяющих несколько модулей.

Автоматизированные предприятия (АП) создаются на основе объединения в единый комплекс перенастраиваемых производственных систем.

Разработка ППС должна осуществляться в соответствии с действующими нормами и правилами по строительству предприятия, которые регламентируют состав, порядок разработки, согласования и утверждения проектов и смет на строительство новых, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий, зданий и сооружений отраслей народного хозяйства, отраслей промышленности и видов строительства.

В составе проектов ППС должны быть разработаны:

- схемы функциональной, технологической и информационной структур, определяющие состав модулей ППС и конфигурацию вычислительных сетей ППС;
- алгоритмические модели функционирования ППС для конкретного состава задач ППС, программное обеспечение ППС, распределение управления ППС по уровням иерархической вычислительной сети;
- решения по совместимости и взаимодействию с АСУП, АСНИ, САПР, АСТПП;
- компоновочные схемы оборудования, чертежи коммуникаций, чертежи пневмо-, гидросистем, вентиляционных и других, обеспечивающих функционирование ППС.

В целом перенастраиваемые автоматизированные производства, автоматизированные предприятия функционируют под управлением многоуровневой интегрированной автоматизированной системы управления (ИАСУ).

ППС должны создаваться на базе единой системы автоматизированных технологических модулей с использованием совместимых ЭВМ, объединяемых в вычислительные сети.

Информационный обмен между ЭВМ, встроенными в АТК, ЭВМ, обеспечивающими функционирование сетевых терминальных комплексов, локальных вычислительных сетей, иерархических вычислительных сетей должен обеспечивать выполнение всех функций ППС с заданной надежностью и производительностью.

Должно быть обеспечено многоуровневое взаимодействие между ЭВМ ППС с унификацией логической структуры рабочих терминальных комплексов на обо-

рудования и у персонала ППС, а также сетевых терминальных комплексов, которые обеспечивают доступ к различным ресурсам вычислительной сети ППС.

Архитектура взаимодействия микропроцессоров в вычислительных сетях ППС должна быть многоуровневой.

Каждый уровень взаимодействия должен выполнять определенную задачу и обеспечивать возможность работы старшего смежного уровня.

В ППС устанавливаются следующие уровни взаимодействия:

- физический, обеспечивающий электрическое соединение микропроцессоров;
- канальный, обеспечивающий логическое соединение микропроцессоров, объединяемых в сеть;
- сетевой, обеспечивающий коммутацию и маршрутизацию логических соединений;
- транспортный, обеспечивающий перенос данных между компонентами сети;
- сеансовый, обеспечивающий взаимодействия между соединяемыми компонентами;
- представления, обеспечивающий интерпретацию данных, которыми обмениваются взаимосвязанные прикладные программы, реализуемые различными компонентами сети;
- прикладной, обеспечивающий пользователю ППС доступ к ресурсам распределенных вычислительных средств.

Свод правил взаимодействия компонентов ППС на одинаковых логических уровнях определяют протоколы. Протоколы взаимодействия и интерфейсы между логическими уровнями должны быть унифицированы.

Создавать ППС целесообразно для предприятий, имеющих многоцелевой характер, и автоматизировать их путем внедрения многономенклатурных, быстро переналаживаемых, программно-управляемых гибких автоматизированных модулей с ЧПУ или непосредственно управляемых от встроенных или центральных ЭВМ, которые интегрированы с промышленными роботами и манипуляторами, универсальными автоматизированными транспортными системами, автоматизированными складами, а также интегрированными автоматизированными системами управления (АСУ). Система управления должна функционировать в тесной связи с системами автоматизации проектирования (САПР), автоматизированными системами технологической и технической подготовки производства (АС ТПП), автоматизированными системами управления производством (АСУП), автоматизированными системами управления технологическим процессом (АСУТП).

Объединение технологических операций должно осуществляться с помощью промышленных роботов – программируемых многофункциональных манипуляторов, создаваемых для перемещения деталей, инструмента, материалов и специальных устройств. С помощью роботов можно перейти от автоматизации отдельных технологических операций к комплексной автоматизации производственных процессов. При создании роботизированных участков ППС должно быть обеспечено высвобождение максимального числа рабочих с учетом посменной работы, что создает предпосылки

для значительного увеличения объемов производства без привлечения дополнительной рабочей силы.

Координация функционирования АТК осуществляется за счет совместимости микропроцессоров и образования вычислительных сетей.

ППС должны создаваться из типовых автоматизированных модулей для различных типов производств и видов технологии, организации кооперации в разработке, изготовлении и внедрении головных систем.

Созданию ППС должны предшествовать:

- разработка нормативно-технических материалов;
- разработка математических моделей производственного процесса в условиях ППС;
- организация производства и планомерной поставки типовых элементов общетехнического применения с гарантированными свойствами режущего инструмента, запасных частей, высокомоментных электродвигателей постоянного тока, преобразователей частоты их вращения, индуктивных датчиков положения и т. д.;
- разработка и согласование комплекта технических заданий на создание устройств автоматизированного управления всех уровней на основе микропроцессорной техники и разработка технологического и функционального программно-математического обеспечения;
- разработка и согласование технических заданий на системы автоматизированного проектирования конструкций и технологических процессов, автоматизированные системы и рабочие места для подготовки программ управления оборудованием;
- определение перечня необходимых профессий и специальностей рабочих, ИТР и служащих и организация для целевой опережающей подготовки высококвалифицированных кадров в области новых методов конструирования и работы в условиях ППС на основе передовых приемов труда;
- переподготовка рабочих кадров, повышение их квалификации и обучение вторым (смежным) профессиям; подготовка новых рабочих широкого профиля для работы в условиях внедрения модулей ППС.

Для эффективного функционирования ППС необходимы опережающая разработка, изготовление и внедрение системы организационно-экономического управления ППС на старшем уровне иерархии, процедур организации производства, осуществляющей планирование, управление и регулирование ходом производства, транспортной и складской систем, системы организации труда. Типовые решения по комплексам модулей, объединяемых в АТК, должны отрабатываться на базовых предприятиях на основе использования серийно выпускаемого и разрабатываемого технологического оборудования.

На период внедрения ППС необходимо формировать проектно-целевые группы из работников технологических организаций и предприятий, осуществляющих разработку и внедрение модулей, АТК, ППС и АП, создавать для них необходимые условия для достижения конечных результатов.

В ППС наряду с материальными и энергетическими потоками возникают значительные информацион-

ные потоки, определяющие функционирование системы. Формирование и управление информационными потоками осуществляет ИАСУ ППС с помощью базы данных, являющейся частью единого банка данных предприятия.

Функционирование единого банка данных предприятия, а также банков данных отдельных компонентов ИАСУ ППС, таких, как САПР, АСТПП, АСУ ТП, АСУП, определяет необходимость распределения задач по уровням разработки с помощью монитора ППС, действующего в условиях системы управления распределенными базами данных (СУРБД).

Поток данных между ИАСУ ППС и промышленными роботами обеспечивает управление их совместной работой, как между собой, так и с технологическим оборудованием. Связь ИАСУ ППС с автоматизированными транспортно-складскими системами и вспомогательным оборудованием осуществляется в целях управления различными материальными потоками в ППС (в механообрабатывающем производстве, например, к материальным потокам относятся транспортировка заготовок, деталей, инструмента и оснастки, отвод стружки из зоны резания). Комплекс задач ИАСУ ППС должен охватывать весь процесс разработки изделий и технологической подготовки производства функционирования ППС при изготовлении. Технической основой создания интегрированной системы управления ППС является промышленная сеть ЭВМ. Построение больших и сложных систем, включающих в свой состав распределенные вычислительные средства как основу системы управления, требует выбора структуры связи этих вычислительных средств, обеспечивающих их объединение в единый комплекс. В зависимости от того, как связаны ЭВМ между собой, зависят общее быстродействие, загруженность, легкость внесения исправлений в программное обеспечение, надежность, живучесть и другие характеристики. Наиболее универсальным решением для сложных ППС является иерархическая структура сети ЭВМ, которая может содержать разнородные вычислительные средства, позволяет рационально обслужить различные уровни иерархии в соответствии с требованиями структурного проектирования. В этом случае потоки локальной информации замыкаются на соответствующем уровне иерархии, обеспечивая минимизацию интенсивности потоков информации по системе в целом. При резервировании наиболее важных функций могут быть обеспечены необходимая степень надежности ИАСУ ППС, заданные характеристики диагностирования и быстрый переход к локально-автономному управлению различными модулями, что важно при наладочных, полупри автоматических режимах работы ППС.

Число уровней иерархической системы управления определяется сложностью и объемом производства, его изменяемостью. Для разных уровней ППС могут применяться различные средства вычислительной техники.

В обоснованных случаях должны создаваться встроенные устройства локального управления, разрабатываемые специально «под оборудование» и обладающие специфическими особенностями. Наиболее перспективными для построения контроллеров, используемых

в системах управления ППС, являются универсальные серийные микропроцессорные средства.

Разнообразные и большой объем работ по программированию локальных микропроцессорных систем управления требуют использования автоматизированных систем программирования, кросс-систем разработки и отладки программ, выпуска программной документации в процессе функционирования ППС.

В зависимости от требований к быстродействию систем управления нижнего уровня ППС алгоритмы функционирования реализуются либо аппаратно, либо с помощью программ для микропроцессорных систем.

Программное обеспечение ППС включает операционные системы, системы управления базами данных (СУБД), программное обеспечение локальной сети связи, специальное программное обеспечение, предназначенное для решения задач ППС.

Специальное программное обеспечение рекомендуется строить из отдельных модулей, обеспечивающих решение отдельных задач ППС.

В ППС в зависимости от назначения могут применяться языки описания функциональных свойств технологического процесса или продукции.

Эти языки должны обеспечивать инвариантное описание любого вида процесса данного класса на всех этапах проектирования и изготовления продукции.

Применяемые в ППС СУБД должны обеспечить высокую надежность и плотность хранения данных, малое время реакции при больших объемах данных, совместимость с применяемыми языками программирования.

Для описания обрабатываемых в ППС деталей и узлов языковые средства должны учитывать отношения между размерами одной или нескольких деталей, описывать графику и текстовые конструкции на чертежах, позволять изменять размеры деталей и фразы текстов, строить чертежи из стандартных фрагментов, хранимых в БД.

Стандартные языки для систем автоматизированной подготовки программ для станков с ЧПУ должны позволять описывать постпроцессоры, реализуемые на соответствующих ЭВМ для конкретных станков, готовить программы для станков с помощью системы автоматизированного проектирования.

В составе программного обеспечения должны быть выбраны совместимые для разных типов ЭВМ операционные системы.

Изложенные требования к машинам, оборудованию, приборам, оснащенным микропроцессорными средствами, АТК, ППС и автоматизированные производства на их базе, типовой массовый характер применения средств микропроцессорного управления определяют следующий порядок их разработки.

При разработке эскизного проекта машин, оборудования, приборов составляется частное техническое задание (ЧТЗ) на всю микропроцессорную систему управления (МПСУ).

ЧТЗ должно учитывать требования технических условий (ТУ) на сеть МПСУ, функционирующую в составе ППС, требования ТУ на комплексы МПСУ в составе АТК, а также требования ТУ на локальное

функционирование машин, оборудования, приборов со встроенными микропроцессорами.

В ЧТЗ МПСУ должны быть отражены следующие данные: требования к процессам функционирования машин, оборудования, приборов; основные стадии и фазы процесса; компоненты, материалы, компоновка оборудования в АТК и ППС; типовой состав такого оборудования в АТК и ППС; обеспечивающие параметры; требования по диагностике машин, оборудования, приборов, самодиагностике встроенных микропроцессоров, их комплексов в АТК и ППС; специальные преобразователи и источники питания; параметры аналоговых и дискретных датчиков; состав исполнительных органов и их параметров; перечень операций в ручном и автоматическом режимах, документирование процесса связи встроенных ЭВМ, требования к диалоговому режиму. После разработки и согласования ЧТЗ разрабатывается приложение к нему, которое передается программистам, создающим программное обеспечение машин, оборудования, приборов, входящих в ППС. Это приложение должно содержать технологический цикл работы машин, оборудования, приборов и необходимые блокировочные условия безаварийной работы и безопасности обслуживания.

Технологический цикл и условия блокировки могут выдаваться в виде систем переключательных функций, в которых в качестве независимых переменных выступают сигналы с дискретных датчиков, сигналы обратной связи с исполнительных органов, сигналы таймера.

Составляются две группы условий: для нормального цикла с учетом блокировок, а также для случая отклонения параметров и условий от нормы с учетом локального функционирования, комплексирования МПСУ в составе АТК и объединения МПСУ в составе сети для ППС.

Для второй группы обеспечивается максимальное быстродействие микропроцессора.

Порядок разработки ТУ на комплексы МПСУ АТК и сеть МПСУ ППС должен соответствовать требованиям ТУ на продукцию производственно-технического назначения и отражать особенности машин, оборудования, приборов, АТК и ППС. Указанные процедуры обеспечивают типизацию и унификацию аппаратурной и программной частей МПСУ, структур комплексов МПСУ АТК и сетей МПСУ ППС.

Заключение

Создание ППС целесообразно для предприятий, имеющих многоцелевой характер. Их комплексная автоматизация должна достигаться путем внедрения многономенклатурных, быстро перенастраиваемых, программно-управляемых гибких автоматизированных модулей с ЧПУ или непосредственно управляемых от встроенных или центральных ЭВМ, которые интегрированы с промышленными роботами и манипуляторами, универсальными автоматизированными транспортными системами, автоматизированными складами, а также многоуровневыми интегрированными автоматизированными системами управления (АСУ). Тип создаваемой ППС зависит от степени

изменяемости целей, технологических операций и производственной среды.

Изложенные требования являются организующим началом при создании современных особо сложных производственных систем автоматических машин со встроенными микропроцессорными системами и большими коллективами различных специалистов.

* * *

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31-60079 мол_а_дк.

Список использованных источников

1. Azab A., ElMaraghy H., Nyhuis P., Pachow-Frauenhofer J., Schmidt M. Mechanics of change: A framework to reconfigure manufacturing systems, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 6, 2013. p. 110–119.
2. Karl F., Reinhart G., Zaeh MF. Strategic Planning of Reconfigurations on Manufacturing Resources. In: 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS). Athen: 2012. p. 608-613.
3. Musharavati F., Hamouda A.S.M. Enhanced simulated-annealing-based algorithms and their applications to process planning in reconfigurable manufacturing systems, Advances in Engineering Software, 45, 2012. p. 80–90.
4. Bensmaine A., Dahane M., Benyoucef L. A nondominated sorting genetic algorithm based approach for optimal machines selection in reconfigurable manufacturing environment. Computers and Industrial Engineering, 66(3), 2013. p. 519-524.
5. Ковальчук Е. Р., Косов М. Г., Митрофанов В.Г. и др. Основы автоматизации машиностроительного производства/Под ред. Ю. М. Соломенцева – М.: Высшая школа – 1999. – 312 с.
6. Капитанов А. В., Мишатов В. И. Автоматизированные управленческие системы в промышленности//Вестник МГТУ «Станкин». Научный рецензируемый журнал. №2, 2012 г. – С. 82-85.
7. Егоров С. Б., Капитанов А. В., Локтев А. А., Локтев Д. А., Митрофанов В. Г. Методики проверки пригодности процессов измерения на соответствие требованиям к использованию современного метрологического оборудования//Вестник МГТУ Станкин. 2015. № 4 (35). С. 83-88.
8. Григорьев С.Н. Решение задач технологического перевооружения машиностроения//Вестник МГТУ Станкин. 2008. № 3. С. 5-9.
9. Кутин А. А., Туркин М. В. Технологическая оснастка для гибких производственных систем нового поколения. Вестник МГТУ Станкин. 2011. № 3. С. 36-40.
10. Симанженков К. А., Тясто С. А. Формализация структурного синтеза автоматизированных производственных систем в машиностроении. Вестник МГТУ Станкин. 2011. № 4. С. 76-78.
11. Митрофанов В. Г. Интегрированные производственные системы. Вестник МГТУ Станкин. 2008. № 1. С. 65-67.
12. Загидуллин Р. Р. Оперативно-календарное планирование в гибких производственных системах/Под ред. В. Ц. Зориктуева. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 208 с.
13. Загидуллин Р. Р. Управление жизненным циклом продукции. М.: СТИН, 2008, №6, с. 2-4
14. Позднеев Б. М., Сулягин М. В., Куприяненко И. А., Тихомирова В. Д., Левченко А. Н. Новые горизонты стандартизации в эпоху цифрового обучения и производства//Вестник МГТУ «СТАНКИН». -2015. -№4 (35). - С. 101-108.
15. Григорьев С. Н., Кутин А. А., Долгов В. А. Принципы построения цифровых производств в машиностроении//Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 4. С. 10-15.

The formation of the structure of reconfigurable manufacturing systems, the requirements and the main subsystems

A. V. Kapitanov, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, Professor of the Department «Automated Information Processing and Management», MSTU «STANKIN».

The article discusses the fundamental principles of the structure of reconfigurable manufacturing systems (RMS). A detailed description of the requirements for the key subsystems of RMS taking into account the current goals and development trends of industries as a whole.

Keywords: reconfigurable manufacturing system, information management system, computer-aided manufacturing, production planning.