

УДК 004.052.3
DOI: 10.30987/article_5bd8aa8a8683e5.76305416

Н.В. Суханова, к.т.н.
(ФГАУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН,
127055, Москва, а/я 24, ИКТИ РАН)
E-mail: n_v_sukhanova@mail.ru

Разработка интеллектуальных автоматизированных систем управления в машиностроении

Предложена новая архитектура АСУ, которая объединяет преимущества известных технических систем: производительность суперкомпьютеров, широкие функциональные возможности гибких производственных систем и искусственный интеллект. Экономическим результатом внедрения интеллектуальных АСУ должно стать повышение качества продукции, расширение функциональных возможностей, гибкие, программируемые связи между устройствами, повышение надежности технических средств, исключение простоев при отказах.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления; надежность; коммутаторная архитектура; искусственные нейронные сети.

N.V. Sukhanova, Can. Sc. Tech.
(FSAUN Institute of Design Technological Informatics of RAS, IDTI RAS, a/ya 24, Moscow, 127955)

Development of intelligent automated control systems in mechanical engineering

The new automated control system architecture is offered which combines advantages of well-known engineering systems: super-computer productivity, wide functional potentialities of flexible manufacturing systems and artificial intelligence. The economic result of intelligent ACS introduction is to be produce quality increase, functionality enhancement, flexible programmable ties between devices, reliability increase of technical means and the elimination of outages at failures.

Keywords: automated control systems; reliability; switch architecture; artificial neural networks.

Перед машиностроением поставлена задача повышения качества производимой продукции и производительности технологического оборудования. Для решения этой задачи требуется совершенствовать существующие системы управления технологическими процессами.

Автоматизированные системы управления (АСУ), применяемые в машиностроении, отличаются высоким уровнем сложности и включают большое количество различных компонентов. В настоящее время активно разрабатываются и внедряются устройства с ис-

кусственным интеллектом (ИИ) и искусственные нейронные сети (ИНС). Возникает проблема интеграции интеллектуальных компонентов в уже существующие АСУ.

Объединение методов ИИ, нейроуправления с технологиями параллельной обработки данных позволяет создавать интеллектуальные АСУ с принципиально новыми качествами: адаптивные и самовосстанавливающиеся системы. Экономическим результатом внедрения интеллектуальных АСУ должно стать:

– расширение функциональных возможностей за счет подсоединения дополнительных

устройств с ИИ и ИНС;

- гибкие, программируемые связи между устройствами, входящими в состав АСУ;
- повышение производительности оборудования, исключение простоев при отказах;
- сокращение времени на подготовительные операции при переходе на другую продукцию;
- повышение качества продукции, сокращение брака.

Разработка интеллектуальных АСУ позволит сократить затраты на эксплуатацию, проводить автоматическое восстановление АСУ при отказах. Исключение простоев технологического оборудования при отказах должно дать большой экономический эффект.

При разработке интеллектуальных АСУ использованы методы ИИ, ИНС и коммутаторная архитектура.

Коммутаторная архитектура применялась ранее в суперкомпьютерах для адаптации структуры вычислительной системы к решаемой задаче. Коммутаторы также использовались в компьютерных и промышленных сетях для передачи информации между узлами и элементами сети.

Требования потребителей к качеству продукции предприятий машиностроения постоянно растут, производители вынуждены изменять и обновлять ассортимент выпускаемой продукции, быстро адаптироваться к изменению спроса и предложения на рынке товаров.

В условиях динамично развивающейся рыночной экономики необходимы АСУ с принципиально новыми свойствами, позволяющие быстро и эффективно перестраивать производственный процесс, переходить с производства одного вида продукции на другой. К этим системам предъявляются требования экономической эффективности, устойчивой и надежной работы, выпуска продукции с заданными характеристиками качества.

За основу для разработки интеллектуальных АСУ были приняты существующие гибкие производственные системы (ГПС), которые состоят из гибких производственных модулей (ГПМ). К настоящему моменту эти системы уже морально устарели и нуждаются в модернизации.

Гибкость является одним из важнейших преимуществ при мелкосерийном производстве [1]. ГПС позволяют использовать одно и то же технологическое оборудование для обработки различных деталей. При мелкосерийном производстве выпускают партии в несколько сотен изделий. Использование ГПС позволяет

существенно повысить качество выпускаемой продукции и одновременно снизить затраты на ее производство.

Традиционно ГПС рассматривалась как совокупность ГПМ, транспортных систем для перемещения заготовок и режущего инструмента, системы управления, а также дополнительного оборудования.

В свою очередь, в ГПМ входит технологическое оборудование, дополненное специальными роботизированными устройствами (такими, как устройство загрузки-разгрузки деталей и инструмента и т.п.).

В ГПС обрабатываемые изделия перемещаются по технологической цепочке от одного ГПМ к другому на специальных приспособлениях-спутниках, что позволяет следующее: упростить вспомогательные транспортные устройства; повысить точность обработки.

Заготовка базируется на спутнике с более высокой точностью, чем непосредственно на оборудовании. Точность базирования спутника на технологическом оборудовании очень высока, а погрешность установки учитывается при обработке детали. Установка заготовки на спутник производится обычно на специальных позициях, оснащенных необходимым измерительным инструментом. Это позволяет измерить погрешность установки заготовки и ввести ее в систему управления для коррекции при обработке.

При обработке заготовки в ГПМ учитываются: погрешность установки заготовки на спутнике; погрешность установки режущего инструмента; характеристики режущего инструмента; свойства обрабатываемого материала; степень износа режущего инструмента.

ГПМ в режиме реального времени выбирает оптимальный режим обработки заготовки с учетом указанных параметров. Для управления ГПС используются сложные математические модели, требуются вычислительные системы с высокой производительностью и возможностью параллельной обработки данных. Возникла необходимость создания ГПС с новыми функциональными возможностями: оценки и прогнозирования технологических параметров в реальном времени; адаптации к свойствам обрабатываемого материала; контроля степени износа режущего инструмента. Для реализации новых функциональных возможностей в составе АСУ предлагается использовать модульную вычислительную систему с коммутаторной архитектурой [2, 3].

В управляющей вычислительной системе использовались следующие модули:

- периферийные модули, которые предназначены для ввода и вывода данных;
- интеллектуальные модули, которые реализуют методы ИИ и содержат обученную ИНС;
- алгоритмические модули, которые реализуют алгоритм и включают оперативную память для записи команд и данных, а также процессор для выполнения программы.

Для передачи данных между модулями вычислительной системы использованы коммутаторы.

Предложена новая архитектура АСУ, которая объединяет преимущества известных технических систем: производительность супер-

компьютеров, широкие функциональные возможности гибких производственных систем и искусственный интеллект.

Интеллектуальная АСУ имеет многоуровневую структуру и состоит из нескольких уровней управления (рис.1). На верхнем уровне управления имеются персональные компьютеры автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора, которые соединены между собой с помощью компьютерной сети. На экране АРМ отображается информация о работе АСУ и ее отдельных компонентов. Оператор контролирует работу оборудования и при необходимости вводит команды управления.

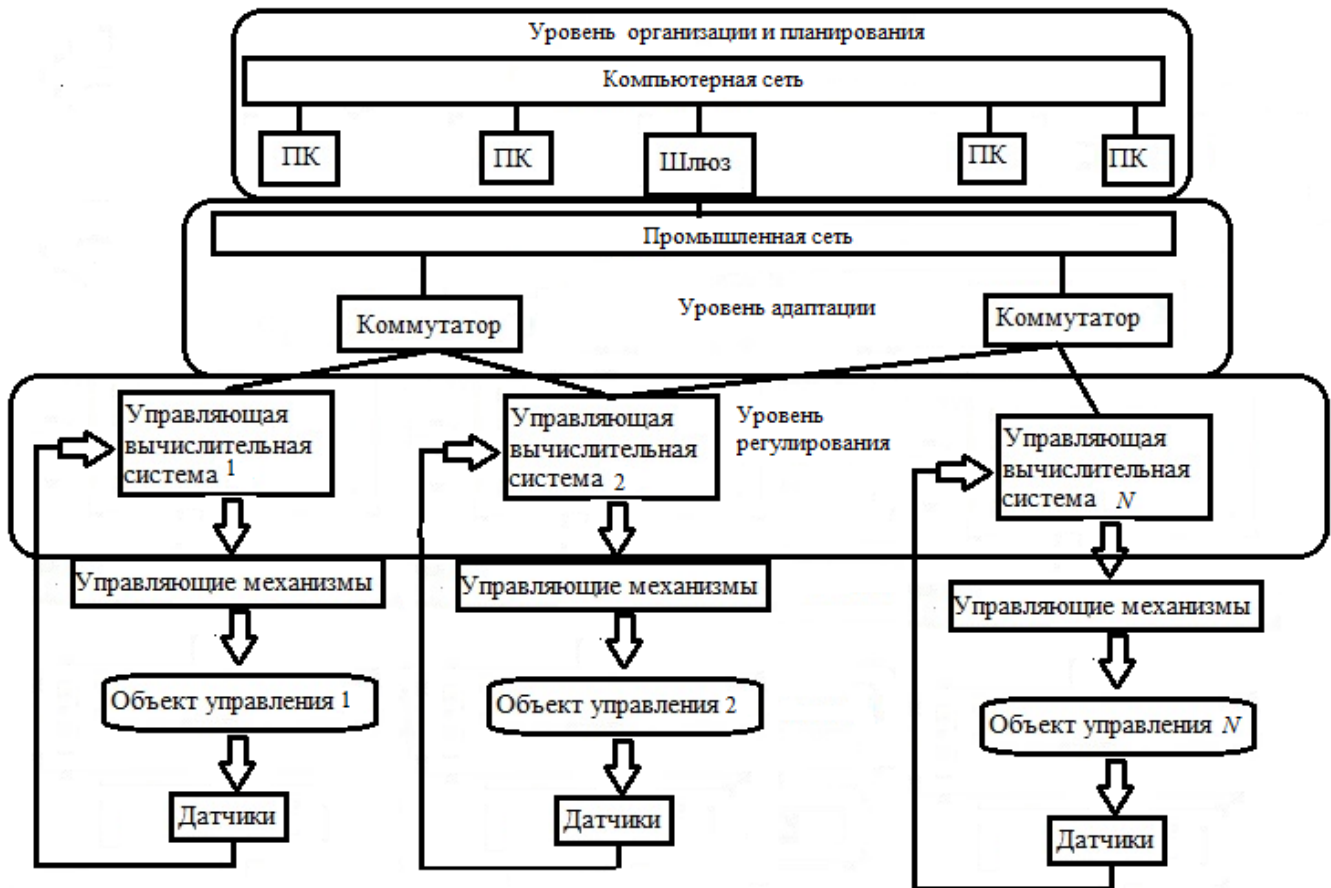


Рис. 1. Интеллектуальная АСУ с коммутаторной архитектурой

В АСУ на промежуточном уровне управления имеется промышленная сеть, которая соединяет между собой управляющие вычислительные системы через коммутаторы. На нижнем уровне вычислительные системы соединены с управляющими устройствами и датчиками. Управляющие устройства и датчики подсоединены к объектам управления. Объектами управления являются: оборудование технологической линии, ГПМ, транспортная система и другие устройства. Управляющая вычислительная система состоит из унифици-

рованных модулей. Модульная структура упрощает техническое обслуживание и облегчает поиск неисправностей при отказах оборудования управляющей вычислительной системы.

В структуре управляющей вычислительной системы можно выделить внешние коммутаторы, которые предназначены для приема и передачи данных между модулями. С помощью внешних коммутаторов модули соединены в сеть. Информация между модулями управляющей вычислительной системы передается в форме пакетов данных. В формате

пакетов данных имеются адреса модуля-отправителя и модуля-получателя. Коммутатор верхнего уровня определяет маршрут передачи пакетов данных между модулями.

При разработке управляющей вычислительной системы была использована коммутаторная архитектура [2, 3]. Коммутаторная архитектура построения АСУ позволяет расши-

рять функциональные возможности, подключать дополнительные модули, а также передавать информацию между модулями с разными принципами функционирования.

В модуле имеются внешние коммутаторы для межмодульных связей и внутренние коммутаторы для соединения элементов и компонентов модуля между собой (рис. 2).

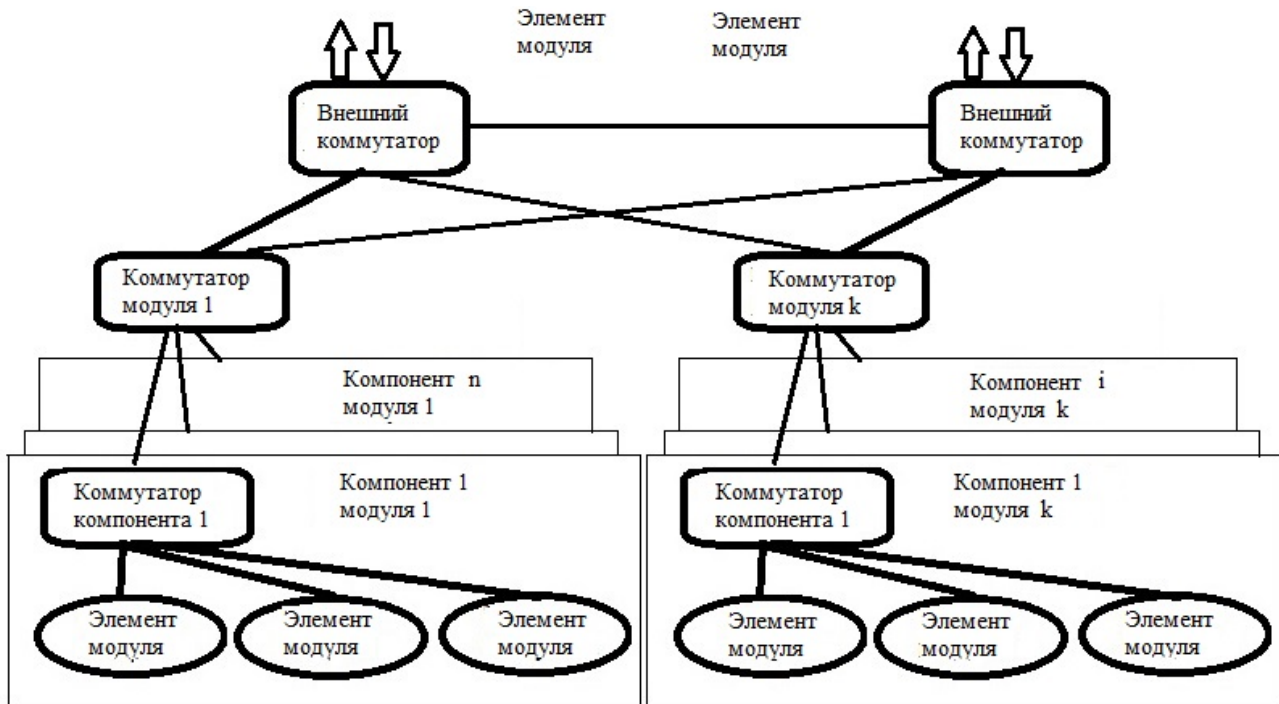


Рис. 2. Архитектура коммутаторной управляющей вычислительной системы

Коммутаторная архитектура использовалась в суперкомпьютерах. Архитектура суперкомпьютера была рассмотрена в работах академиков Каляева А.В. и Каляева И.А. [4, 5]. Коммутаторная архитектура позволила адаптировать структуру вычислительной системы суперкомпьютера к условиям решения задач при потоковых вычислениях, организовать параллельную обработку данных.

Коммутаторная архитектура реализована на базе унифицированных модулей. Модули выполнены на основе стандартных элементов – цифровых электронных схем, интегральных микросхем, контроллеров, процессоров, программируемых логических интегральных схем и др.

В управляющей вычислительной системе с коммутаторной архитектурой взаимные соединения элементов, компонентов, составных частей происходят через коммутаторы, (см. рис. 2). Коммутатор является многофункциональным устройством [6]. Он выполняет следующие функции:

- в памяти коммутатора записана таблица

взаимных связей элементов, компонентов, модулей, коммутаторов;

- коммутатор соединяет между собой входы и выходы элементов, компонентов, модулей, коммутаторов на основе таблицы взаимных связей.

Таблица взаимных связей элементов содержит элементы $x_{[i,j]}$, которые принимают значения «0» или «1». Если i -й вход коммутатора не связан j -ым выходом, то $x_{[i,j]} = 0$. Если i -й вход коммутатора связан с j -ым выходом, то $x_{[i,j]} = 1$.

Коммутаторная архитектура позволяет изменять взаимные связи элементов, компонентов, модулей, коммутаторов в процессе работы вычислительной системы, без ее выключения и без переключения и замыкания контактов, путем записи информации в память коммутатора.

Изменение взаимных связей необходимо в следующих случаях:

- при расширении функциональных возможностей и подключении дополнительных модулей;

– при отказах основных элементов, компонентов, модулей вместо неисправного устройства подключается такое же резервное устройство;

– в процессе эксплуатации изменяются функции системы управления, соответственно требуется подключение новых или отключение, перевод в резерв, части активных элементов, компонентов, модулей;

– если необходимо сравнить эффективность

разных вариантов и схем взаимных соединений элементов, компонентов, модулей, коммутаторов. Имеется возможность реализовать разные схемы на одном аппаратном комплексе, без необходимости перепайки контактов, путем программирования коммутаторов.

На основе суперкомпьютерной системы с коммутаторной архитектурой была реализована интеллектуальная управляющая система (рис. 3).

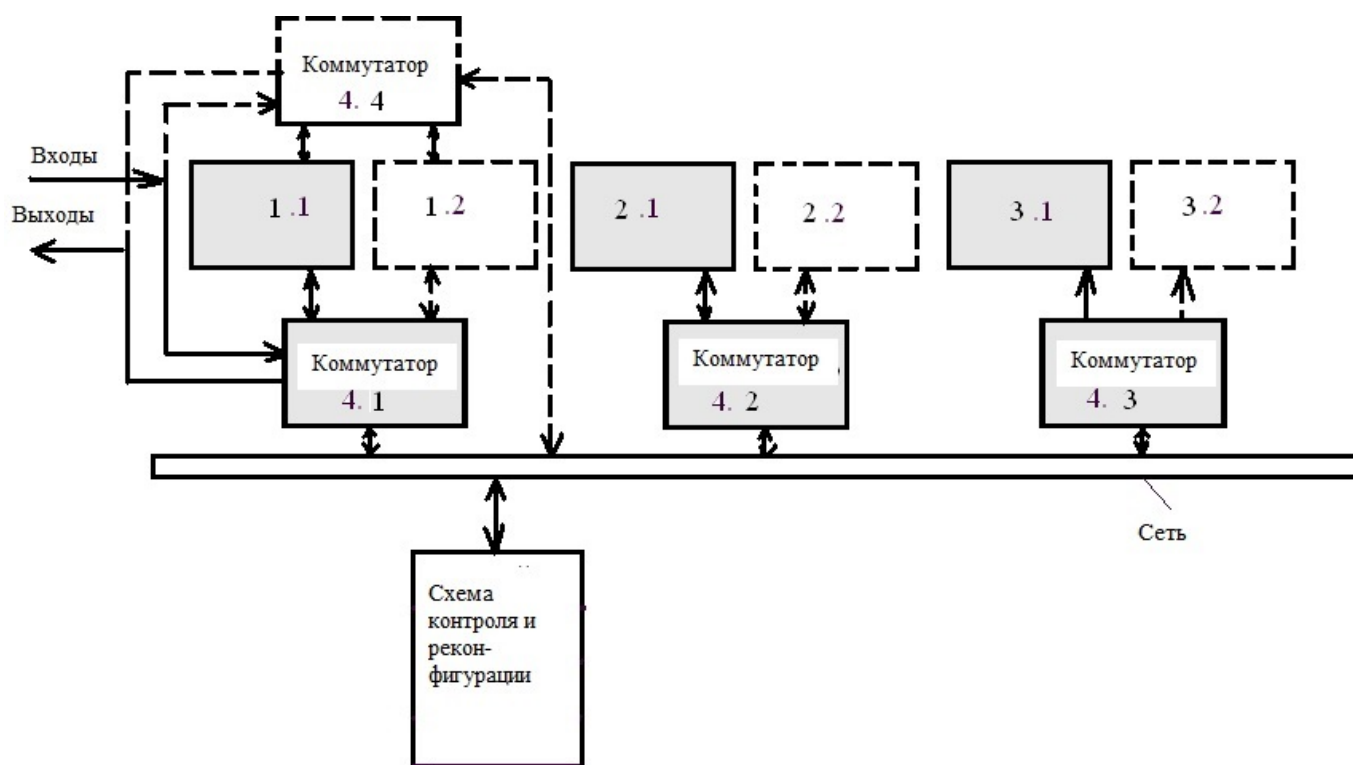


Рис. 3. Интеллектуальная управляющая система с коммутаторной архитектурой:

1.1, 2.1, 3.1 – основные модули; 1.2, 2.2, 3.2 – резервные модули; 4.1, 4.2, 4.3 – основные коммутаторы; 4.4 – резервный коммутатор; 1.1, 1.2 – периферийные модули; 2.1, 2.2 – алгоритмические модули; 3.1, 3.2 – интеллектуальные модули

В интеллектуальной управляющей системе имеются основные и резервные, избыточные модули и коммутаторы. Избыточные модули и коммутаторы переводят в резерв и подключают при отказах основных.

На рис. 3 основные модули и коммутаторы показаны сплошной линией и выделены серым цветом. Избыточные и резервные модули и коммутаторы показаны пунктирной линией и белым цветом. Основные и избыточные модули соединяют с входами и выходами коммутаторов. Коммутаторы соединены в сеть передачи данных.

В интеллектуальную управляющую систему добавлена схема контроля и реконфигурации. Эта схема контролирует работоспособное состояние модулей, обнаруживает их отказы и

формирует команды реконфигурации. Команды реконфигурации поступают в коммутаторы, которые отключают неисправные модули и вместо них подключают резервные модули.

Схема контроля и реконфигурации реализует следующие функции:

- контроль работоспособности, обнаружение отказов модулей;
- определение неисправных модулей;
- отключение неисправных модулей и подключение резервных модулей с помощью коммутаторов;
- реконфигурация, изменение структуры системы управления;
- запись в память коммутатора таблицы взаимных связей модулей и др.

Схема контроля может быть реализована

как контроллер с запрограммированным алгоритмом или как ИНС.

ИНС строится методом последовательного синтеза и добавления слоев, где в каждом слое выполняется контроль работоспособности группы однотипных модулей.

Интеллектуальная АСУ обладает следующими преимуществами:

1. Имеется возможность динамически изменять связи между модулями в процессе работы системы управления, без остановки и прекращения ее функционирования. Отключение неисправных и подсоединение резервных модулей происходит за минимальное время, без переключения контактов, путем записи информации в память коммутатора.

2. Аппаратные средства АСУ обычно характеризуются жесткими, не изменяемыми связями между составными частями, компонентами и модулями. Коммутаторная архитектура позволяет реализовать гибкую, программируемую структуру связей между модулями системы управления.

3. Коммутаторная архитектура позволяет в процессе работы системы управления тестировать и контролировать входные и выходные сигналы на уровне модулей [7, 8].

4. Коммутаторная архитектура системы управления позволяет в процессе работы обнаруживать и парировать отказы модулей, отключать неисправные модули и вместо них подключать исправные резервные модули того же типа.

5. Коммутаторная архитектура позволяет реализовать отказоустойчивую систему с минимальной избыточностью на уровне модулей. Все модули имеют унифицированную структуру. Для скользящего резервирования достаточно использовать один резервный модуль каждого типа. Коммутаторы подсоединяют резервный модуль вместо неисправного модуля того же типа.

В табл. 1 приведены этапы разработки, сроки выполнения и распределение стоимости работ по этапам.

При разработке интеллектуальных АСУ в машиностроении требуется решить следующие основные задачи:

1) Проведение анализа известных систем управления, работ в области систем интеллектуального управления и искусственных нейронных сетей.

2) Разработка требований к интеллектуальной системе управления технологическим процессом в машиностроении.

3) Разработка методов, моделей и программных средств для интеллектуальной системы управления технологическим процессом.

4) Разработка технологии анализа и синтеза систем интеллектуального управления.

5) Разработка методов и моделей интеллектуального управления и другие задачи, связанные с разработкой технологии, инструментальной среды и ее практическим применением.

1. Этапы работ, сроки выполнения и распределение стоимости работ по этапам

Этапы работ	Срок выполнения работ	Стоимость
Разработка общей концепции и эскизного проекта	01.01.19–31.12.19г. (12 месяцев)	30 %
Разработка технического проекта и отдельных модулей комплекса	01.01.20–31.12.20 г. (12 месяцев)	30 %
Разработка опытного образца и программной документации, проведение предварительных испытаний	01.01.21–31.11.21 г. (11 месяцев)	30 %
Проведение приемочных испытаний опытного образца	01.11.21–31.12.21 г. (2 месяца)	10 %
Всего	Начало 01.01.2019г Конец 31.12.2021 г.	100 %

Разработка интеллектуальных АСУ в машиностроении направлена на решение фундаментальной проблемы, требует создания отечественной конкурентоспособной технологии и построения программно-аппаратного комплекса для реализации системы интеллектуального управления технологическими процессами.

Выводы

В условиях динамично развивающейся рыночной экономики необходимы новые подходы к разработке АСУ. Требования потребителей продукции машиностроения постоянно растут. АСУ должны постоянно совершенствоваться, чтобы соответствовать современным требованиям. Необходимы АСУ с принципиально новыми свойствами, позволяющие быстро и эффективно перестраивать производственный процесс, переходить с производства одного вида продукции на другой. К этим системам предъявляются требования экономической эффективности, устойчивой и надежной работы, выпуска продукции с заданными характеристиками качества.

Цель исследования – повышение эффективности и надежности АСУ. Цель достигается за счет расширения функциональных возможностей, обеспечения безотказной работы АСУ, автоматического восстановления АСУ при отказах, исключения простоев технологического оборудования.

Предложена новая коммутаторная архитектура АСУ, которая объединяет преимущества известных технических систем: производительность суперкомпьютеров, широкие функциональные возможности гибких производственных систем и искусственный интеллект.

Коммутаторная архитектура построения АСУ позволяет:

- расширять функциональные возможности, подключать дополнительные модули;
- передавать информацию между модулями с разными принципами функционирования;
- подключать резервные модули при отказах основных модулей и автоматически восстановить работоспособность при отказах системы.

Определены основные задачи и этапы разработки интеллектуальных АСУ в машиностроении. Приведены этапы, сроки выполнения и распределение стоимости работ по этапам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломенцев, Ю.М., Сосонкин, В.Л. Управление гибкими производственными системами. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
2. Пат. на полезную модель 75247 МПК 7 G06F15/16 Российская Федерация. Модульная вычислительная система: заявитель и патентообладатель / Кабак И.С., Суханова Н. В. – № 2008106859; заявл.26.02.2008; опубл. 27.07.2008, Бюл. № 21.– 2 с.
3. Пат. на изобретение 2398281 МПК 7 Российская Федерация G06N 3/06 Многослойная модульная вычислительная система [Текст]/ Соломенцев Ю. М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В.: заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук (ИКИ РАН).-№ 2008143737; заявл. 07.11.2008; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24.– 8с.
4. Каляев, А.В. Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. – М.: Радио и связь, 1984. – 240 с.
5. Каляев, И.А. и др. Реконфигурируемые мультимедийные вычислительные структуры / И.А. Каляев, И.И. Левин, Е.А. Семерников, В.И. Шмойлов. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2008. – 392 с.

6. Пат. на изобретение № 2139567 Российская Федерация. Многофункциональный коммутатор / Князьков В.С., Васин Л.А.: заявитель и патентообладатель Пензенский технологический институт (ВТУЗ), заявл. 11.06.1997, опубл. 10.10.1999.

7. Суханова, Н.В. Обеспечение отказоустойчивости аппаратных средств автоматизированных систем управления // Вестник МГТУ "СТАНКИН". – 2017. – №2 (41). – С. 79-83.

8. Суханова, Н.В. Применение коммутаторной структуры при обеспечении отказоустойчивости аппаратных средств вычислительных систем // Вестник МГТУ "СТАНКИН". 2017. №3(42). – С.105-110.

REFERENCES

1. Solomentsev, Yu.M., Sosonkin, V.L. *Flexible Manufacturing System Control*. – M.: Mechanical Engineering, 1988. – pp. 352.
2. Pat. for utility 75247 IPC 7 G06F15/16 the Russian Federation. *Module Computer System*: applicant and patent holder / Kabak I.S., Sukhanova N.V. – No. 2008106859; applied 26.02.2008; published 27.07.2008, Bull. No.21. – pp. 2.
3. Pat. for invention 2398281 IPC 7 the Russian Federation G06N 3/06 *Multi-layer Module Computer System* [Text]/ Solomentsev Yu.M., Sheptunov S.A., Kabak I.S., Sukhanova N.V.: applicant and patent holder Federal State Budget Institution of Science Institute of Design Technological Informatics of the Russian Academy of Science (FSBIS IDTI RAS). – No. 2008143737; applied 07.11.2008; published 27.08. 2010, Bull. No. 24. – pp. 8.
4. Kalyaev, A.V. *Multi-processor Systems with Programmable Architecture*. – M.: Radio and Communication, 1984. – pp. 240.
5. Kalyaev, A.V. et al. *Reconfigurable Multi-conveyer Computer Structures* / I.A. Kalyaev, I.I. Levin, E.A. Semernikov, V.I. Shmoilov. – Rostov-upon-Don: Publishing House of SSC RAS, 2008. – pp. 392.
6. Pat. for invention No. 2139567 the Russian Federation. *Multi-functional Switch* / Knyazkov V.S., Vasin L.A.: applicant and patent holder – Penza Technological Institute (TC), applied 11.06.1997, published 10.10. 1999.
7. Sukhanova, N.V. *Fault Tolerance Support in Hardware of Automated Control Systems* // Bulletin of MSTU "STANKIN". – 2017. – No. 2(41). – pp. 79-83.

Рецензент д.т.н. А.Б. Барский

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"
 Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
 ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
 Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru
 Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбова.

Сдано в набор 05.10.2018. Выход в свет 30.11.2018.
 Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.
 Тираж 500 экз. Свободная цена.

12+

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии
 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
 "Брянский государственный технический университет"
 241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16