

3. Kukhareno, B.G. Spectrum analysis technology based on Prony rapid transformation // *Information Technologies*. – 2008. – No.4. – pp. 38-42.

4. Bulgakov, B.V. *Oscillation*. – M.: State Publishers of Engineering and Theoretical Literature, - 1954.

5. Kirenkov, V.V., Dosko, S.I. Standard inverse problems and methods of their solution at assessment of test results of aerospace engineering // *Aerospace Engineering. Proceedings. Series XII*. Issue 3. Korolyov: “Energy” Aerospace Engineering. – 2014. – pp. 100.

6. Velikhov, E.P. *Physical Phenomena in Gas Plasma*. – M.: Science, - 1987. – pp. 159.

7. *Physical Encyclopedic Dictionary* / editor-in-chief A.M. Prokhorov; editorial board: D.M. Alexeev, A.M. Bonch-Bruevich, A.S. Borovik-Romanov [et al.]. – M.: Soviet Encyclopedia, 1983. – pp. 928.

8. Logvin V.A., Redko V.P., Volchenko A.V., Logvina E.V., Tereshko I.V. Pat. No.9963 the Republic of Belarus, IPC C23C 14/38. // National Center of Intellectual Property. – 2014. – No.1 – pp. 205.

Рецензент д.т.н. А.Х. Глибеков

УДК 004.052.3

DOI: 10.30987/article\_5bf702b2d5b4b0.05698577

Н.В. Суханова, к.т.н.

(Институт конструкторско-технологической информатики РАН,  
127055, г. Москва, Вадковский пер. 18, стр. 1а)

E-mail: n\_v\_sukhanova@mail.ru

## Разработка требований к аппаратно-программному комплексу интеллектуальных систем управления в машиностроении

*Представлена разработка обобщенной структурной и функциональной схемы для интеллектуальных систем управления в машиностроении. Выделено инвариантное ядро и прикладная технологическая часть. Сформулированы требования к аппаратно-программному комплексу интеллектуальных систем управления. Предложена новая архитектура, которая объединяет преимущества известных технических систем: высокую производительность, широкие функциональные возможности и искусственный интеллект.*

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы управления; аппаратно-программный комплекс; инвариантное ядро; прикладная технологическая часть.

N.V. Sukhanova, Can. Sc. Tech.

(Institute of Design Technological Informatics of RAS, Building 1a, 18. Vadkovsky Alleyway, Moscow 127055)

## Development of requirements to hardware-software complex of intelligence systems of control in mechanical engineering

*The development of a generalized structural and functional scheme for intelligence control systems in mechanical engineering is presented. The invariant core and applied technological part are emphasized. The requirements to a hardware-software complex of intelligence control systems are formulated. A new architecture is offered which unites the advantages of the well-known engineering systems: high productivity, wide functional potentialities and artificial intelligence.*

**Keywords:** intelligence systems of control; hardware-software complex; invariant core; applied technological part.

В настоящее время быстрыми темпами развиваются и внедряются системы с элементами искусственного интеллекта (ИИ). В системах управления используется один или несколько методов ИИ: искусственные нейронные сети

(ИНС); нечеткая логика (НЛ); генетические алгоритмы (ГА); экспертные системы (ЭС) и др. [1].

Современное машиностроение – это высокотехнологичная отрасль, где широко исполь-

зуются научные достижения. Перед машиностроением стоят задачи сохранения и развития производственного потенциала, внедрения новых технологий, повышения качества производимой продукции и производительности оборудования. Для решения этих задач необходимо совершенствовать системы управления на базе методов ИИ.

В машиностроении используются сложные системы управления, которые характеризуются следующими свойствами:

- иерархической многоуровневой структурой системы управления;
- высокой сложностью объектов управления – технологических процессов и оборудования;
- сложными принципами, законами и моделями управления;
- большим количеством устройств, составных частей, компонентов и элементов в составе системы управления;
- интенсивным обменом информацией между устройствами

В состав системы входят составные части, компоненты и элементы с разными принципами функционирования; управление технологическими процессами и оборудованием происходит в режиме реального времени; требования к качеству продукции постоянно растут.

В машиностроении можно выделить наиболее приоритетные направления для разработки и внедрения интеллектуальных систем управления:

- системы для диспетчерского управления технологическими процессами и оборудованием;
- системы для контроля качества продукции;
- числового программного управления станками и обрабатывающими центрами;
- системы активной вибрационной защиты станочного оборудования;
- системы управления вакуумным напылением;
- системы управления в комплексах плазменного травления;
- системы управления комплексами гальванической обработки;
- системы управления станками электроэрозионной обработки;
- системы управления сварочным оборудованием;
- системы управления промышленными роботами-манипуляторами;
- системы автоматизации сборочных линий и др.

Объединение методов ИИ, принципов построения суперкомпьютеров, параллельной обработки данных и сетевых технологий в комплексе средств разработки позволяет создать новые интеллектуальные системы управления с расширенной функциональностью. Современные системы управления включают комплекс аппаратных и программных средств. В интеллектуальных системах управления имеются элементы, которые реализуют методы искусственного интеллекта и решают задачи, основанные на смысловой обработке информации. Разработаны требования к комплексу аппаратных и программных средств интеллектуальных систем управления.

Цель исследования данной работы – повышение качества работы систем управления. Она достигается за счет:

- применения модульной структуры, расширения номенклатуры и функциональных возможностей модулей;
- применения гибких связей между составными частями, компонентами, модулями и элементами;
- адаптации структуры интеллектуальных систем управления к сложности решаемых задач;
- повышения производительности за счет параллельной обработки информации;
- оптимизации объема и интенсивности информационных потоков между составными частями системы управления.

Поставленная цель достигается разработкой новой архитектуры интеллектуальной системы управления технологическими процессами.

Предложена коммутаторная архитектура интеллектуальной системы управления, которая объединяет преимущества известных технических систем: высокую производительность и параллельную обработку информации в суперкомпьютерах, широкие функциональные возможности, искусственный интеллект, сетевые технологии передачи информации.

Основные задачи исследования:

- 1) Проведение анализа известных интеллектуальных систем управления.
- 2) Разработка требований к аппаратно-программному комплексу интеллектуальной системы управления.
- 3) Разработка методов, моделей и программных средств для системы управления.
- 4) Другие задачи, связанные с разработкой инструментальной среды для моделирования и отладки интеллектуальной системы.

Таким образом, исследования направлены

на решение фундаментальной проблемы разработки отечественной конкурентоспособной технологии построения программно-аппаратного комплекса для интеллектуальной системы управления.

Известные интеллектуальные системы управления (ИСУ) имеют многоуровневую организацию (рис.1) [1]. В структуре этих систем выделяют три основных уровня: верхний уровень организации и планирования; промежуточный уровень координации и адаптации; нижний уровень регулирования.

На основе известной структуры разработана новая гибкая программируемая архитектура для интеллектуальных систем управления (рис. 2, рис. 3).

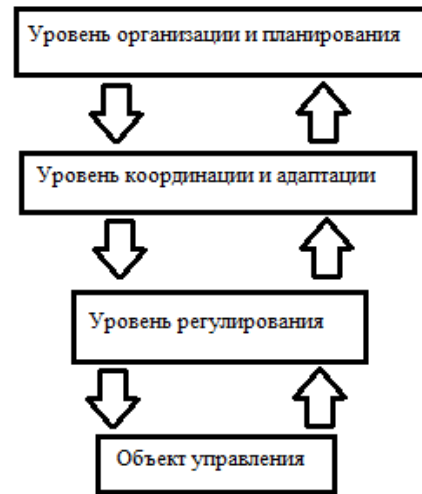


Рис. 1. Многоуровневая интеллектуальная система [1]

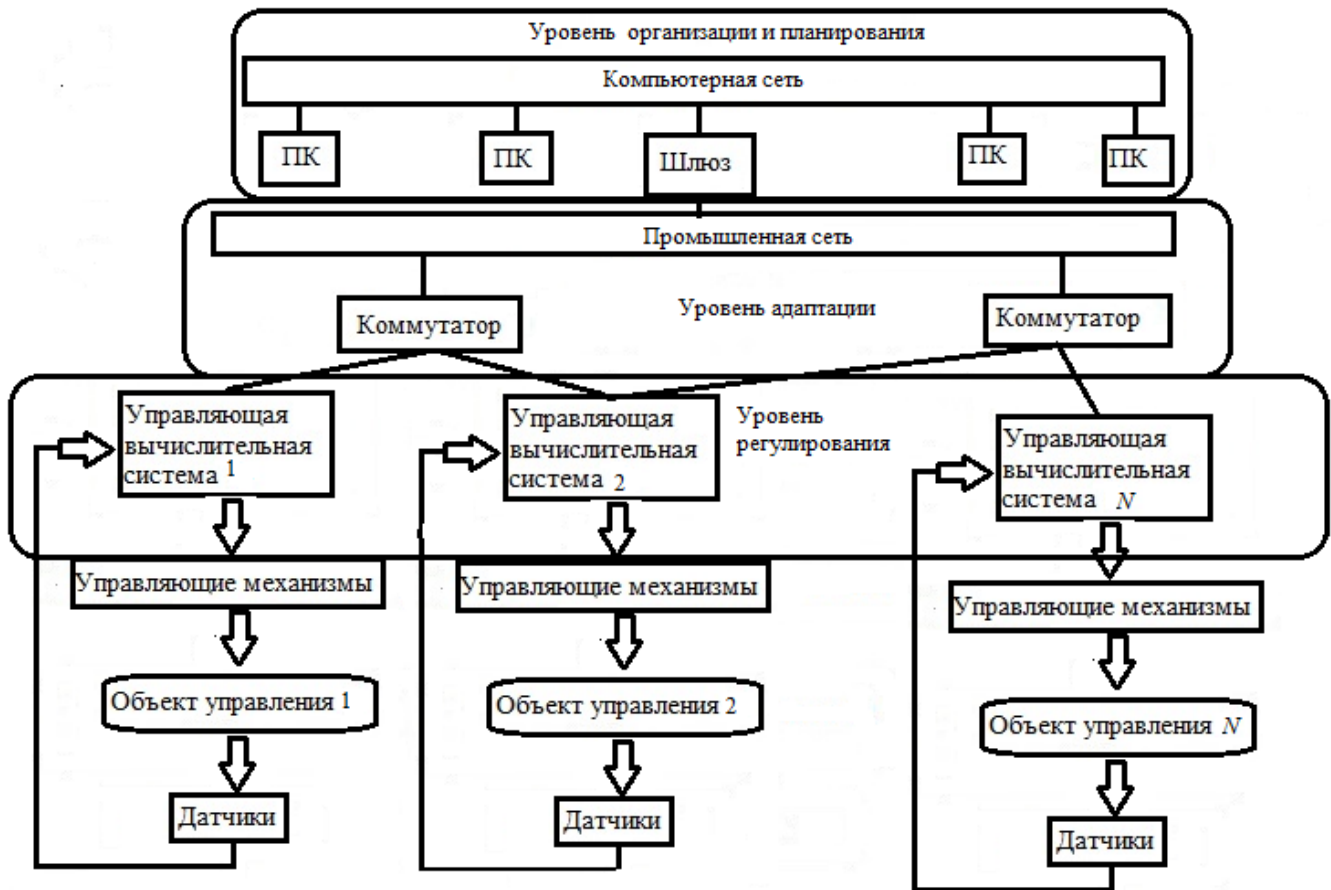


Рис. 2. Структура интеллектуальной системы управления

ИСУ имеет многоуровневую структуру и состоит из нескольких уровней управления. 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 ИСУ и ее отдельных компонентов. Оператор контролирует работу обслуживания и при необходимости вводит ко-

манды управления.

На промежуточном уровне управления имеется промышленная сеть, которая соединяет между собой управляющие вычислительные системы через коммутаторы. Коммутаторы использованы для адаптации структуры ИСУ к решаемой задаче.

На нижнем уровне имеются управляющие вычислительные системы, которые соединены с управляющими устройствами и датчика-

ми. Управляющие устройства и датчики подсоединены к объектам управления. Объектами управления являются оборудование или технологический процесс, технологическая линия. Управляющая вычислительная система

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

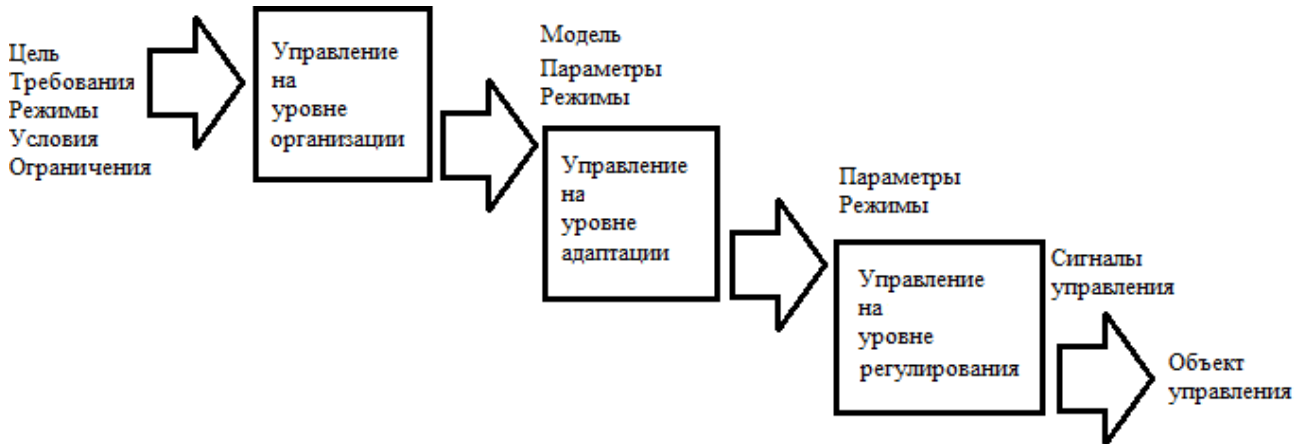


Рис. 3. Функциональная схема интеллектуальной системы управления

Для реализации новых функциональных возможностей предлагается использовать модульную вычислительную систему с коммутаторной архитектурой [3, 4].

В данной 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 и процессор для выполнения программы.

Для передачи данных между модулями вычислительной системы используют коммутаторы [5, 6]. Коммутаторная архитектура применяется в суперкомпьютерах. Архитектура суперкомпьютера рассмотрена в работах академиков Каляева А.В. и Каляева И.А. [5, 6].

Коммутаторная архитектура позволила адаптировать структуру вычислительной системы суперкомпьютера к условиям решения задач при потоковых вычислениях, организовать параллельную обработку данных. Коммутатор является программируемым устройством и выполняет соединение входов и выходов на основе информации, которая хранится в его памяти [7]. Имеется возможность записи и перезаписи информации в памяти коммутатора. Программирование коммутатора позволяет реализовать гибкую перенастраиваемую архитектуру ИСУ, изменять функцио-

нальность, подключать дополнительные модули. Коммутаторная архитектура дает возможность адаптировать аппаратно-программный комплекс ИСУ к решению конкретной задачи.

Многоуровневая коммутаторная архитектура системы управления и модульная структура управляющей вычислительной системы позволяют создать ИСУ с новыми возможностями:

- динамически изменять связи между составными частями, компонентами и элементами;
- адаптировать функциональные возможности системы управления к решаемой задаче, подключать дополнительные модули;
- использовать модули с разными принципами функционирования;
- передавать информацию между модулями в режиме реального времени;
- подключать резервные модули при отказах основных модулей и автоматически восстановить работоспособность при отказах системы [8, 9].

Предложена новая архитектура ИСУ, которая объединяет расширенные функциональные возможности, производительность суперкомпьютеров, параллельную обработку информации и искусственный интеллект.

#### Требования к аппаратно-программному комплексу интеллектуальной системы управления

Требования по назначению и составу.

Инструментальный комплекс – это набор аппаратных и программных средств для решения широкого круга задач интеллектуального управления в машиностроении.

В состав инструментального комплекса входят (рис. 4):

1) инвариантная часть, представляющая собой универсальное ядро интеллектуальной системы, содержащее следующие компоненты:

– аппаратные и программные средства реализации методов ИИ: искусственных нейронных сетей, нечеткой логики, генетических ал-

горитмов и экспертных систем;  
 – средства для реализации гибкой программируемой структуры ИСУ;  
 – универсальную среду для моделирования и испытания системы интеллектуального управления;  
 – интерфейсы.

2) прикладная технологическая часть, содержащая комплекс специализированных моделирующих программных средств, в том числе моделирование технологического процесса, модели объекта управления, модели внешней среды и др.

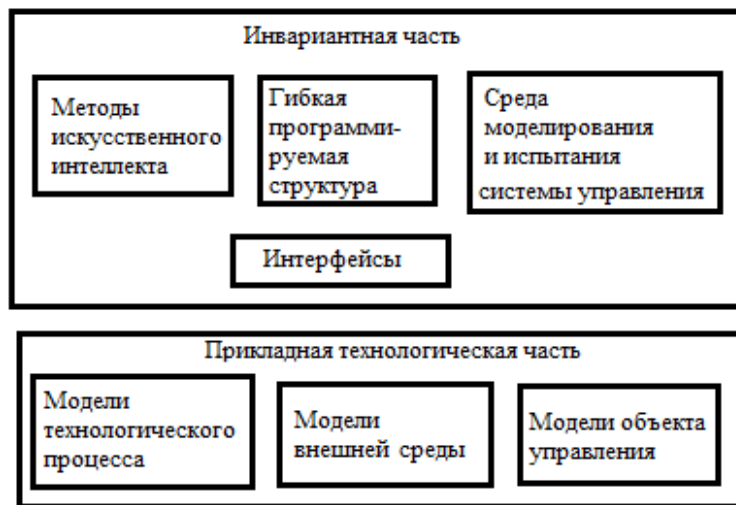


Рис. 4. Аппаратно-программный комплекс интеллектуальной системы управления

Результатом применения инструментального комплекса должна стать разработка аппаратных и программных средств для интеллектуальной системы управления технологическим процессом с целью повысить производительность оборудования и обеспечить заданный уровень качества продукции. При этом к интеллектуальной системе управления технологическим процессом предъявляются жесткие требования по точности, быстродействию, надежности и гибкости управления.

Требование к интеллектуальной технологии

Технология интеллектуального управления должна обеспечивать построение моделей большой степени сложности с возможностью задания модели поведения для каждой составной части, компонента, элемента.

Требования к компонентам комплекса

В архитектуру интеллектуальной системы входят компоненты, составляющие инвариантное ядро:

– подсистему мониторинга текущих параметров состояния объекта управления;

– подсистема диагностики, которая на основании данных системы мониторинга определяет текущее состояние объекта управления как исправное, либо как неисправное.

Аппаратно-программный комплекс ИСУ должен работать в режиме реального времени, повысить качество продукции, увеличить производительность технологического оборудования.

Правила управления осуществляют выбор управлений из множества допустимых в соответствии с текущей целью. По текущим данным формируется вектор состояния объекта управления и с учетом априорных сведений о ситуации намечаются допустимые альтернативы ее разрешения.

Требования к программному обеспечению

Программное обеспечение включает:

– реализацию методов ИИ;  
 – средства для математического и имитационного моделирования;  
 – средства поддержки параллельных вычислений;

– управление в режиме реального времени.

Требования к аппаратной части

Аппаратный комплекс предназначен для выполнения функций:

– аппаратной поддержки и надежного функционирования программной части;

– обеспечения режима реального времени.

Аппаратно-программный комплекс ИСУ должен масштабироваться в соответствии со сложностью задачи.

**Заключение**

В современных условиях необходимы системы управления, позволяющие быстро переоборудовать и адаптировать их состав и структуру с учетом специфики технологических процессов переходить с производства одного вида продукции на другой.

Повышение качества работы систем управления достигается за счет:

– коммутаторной архитектуры и гибких связей между составными частями, компонентами, модулями и элементами;

– вычислительных систем с модульной структурой, расширения номенклатуры и функциональных возможностей модулей, использования интеллектуальных модулей, ИНС;

– контроля работоспособности, подключения резервных модулей, автоматического восстановления при отказах.

Разработаны требования по назначению и составу комплекса аппаратных и программных средств для ИСУ в машиностроении.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Васильев, В.И., Ильясов, Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.

2. Бухановский, А.В., Ковальчук, С.В., Марьин, С.В. Интеллектуальные высокопроизводительные программные комплексы моделирования сложных систем: концепция, архитектура и примеры реализации // Известия вузов. Приборостроение. – 2009. – Т. 52. – № 10. – С. 5-23.

3. Патент на полезную модель 75247 РФ МПК 7 G06F15/16. 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.

4. Патент на изобретение 2398281 РФ МПК 7 G06N 3/06 Многослойная модульная вычислительная система / Соломенцев Ю. М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В.: заявитель и патентообладатель ФГБУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН

(ИКИ РАН).-№ 2008143737; заявл. 07.11.2008; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24. – 8с.

5. Каляев, А.В. Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. – М.: Радио и связь, 1984. – 240 с.

6. **Реконфигурируемые** мультимониторные вычислительные структуры / И.А. Каляев, И.И. Левин, Е.А. Семерников, В.И. Шмойлов. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮНЦ РАН, 2008.– 392 с.

7. Патент на изобретение № 2139567 РФ Многофункциональный коммутатор. Князьков В.С., Васин Л.А.: заявитель и патентообладатель Пензенский технологический институт (ВТУЗ), заявл. 11.06.1997, опубл. 10.10.1999. Бюл № 10, 3 с.

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

9. Суханова, Н.В. Разработка интеллектуальных автоматизированных систем управления в машиностроении // Научные технологии в машиностроении. – 2018. – №11(89). – С 42-48.

**REFERENCES**

1. Vasiliev, V.I., Ilyasov, B.G. Intelligence control systems. Theory and practice. – М.: Radio Engineering, 2009. – pp. 392.

2. Bukhanovsky, A.V., Kovalchuk, S.V., Mariyn, S.V. Intelligence high-productivity program complexes for complex system modeling: concept, architecture and examples of realization // College Proceedings. Instrument Making. – 2009. – Vol.52. – No.10. – pp. 5-23.

3. Pat. for utility model 75247 RF IPC 7 G06F15/16. Modular Computation 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.

4. Pat. for invention 2398281 RF IPC 7 G06N 3/06 Multi-layer Modular Computer System / Solometsev Yu.M., Sheptunov S.A., Kabak I.S, Sukhanova N.V.: applicant and patent holder: FSBUN Institute of Design-Technological Informatics of RAS (IDTI RAS). – No. 2008143737; applied 07.11. 2008; published 27.08.2010, Bull. No.24. – pp. 8.

5. Kalyaev, A.V. Multi-processor systems with programmable architecture. – М.; Radio and Communication, 1984. – pp. 240.

6. *Reconfigurable Multi-Conveyer Computer Structures* / I.A. Kalyaev, I.I. Levin, E.A. Semernikov, V.I. Shmoilov. – Rostov-upon-Don: Publishers of UNC RAS, 2008. – pp. 392.

7. Pat. for invention No.2139567 RF Multi-functional Commutator. Knyazkov V.S., Vasin L.A.: applicant and patent holder: Penza Technological Institute (VTUZ), applied 11.06.1997, published 10.10.1999. Bull. No.10, - pp. 3.

8. Sukhanova, N.V. Failure-resistance support in hardware means of automated control systems // Bulletin of MSTU "STANKIN". – 2017. – No. 2(41). – pp. 79-83.

9. Sukhanova N.V. Development of intelligent automated control systems in mechanical engineering // Science intensive technologies in mechanical engineering. – 2018. – №11(89). – pp. 42-48.

*Рецензент д.т.н. А.Б. Барский*