

Электромагнитная совместимость при модернизации станков с ЧПУ

А.Ю. Антонов, Д.П. Данилаев 

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева - КАИ
420111, Россия, г. Казань,
ул. К. Маркса, 10

Аннотация – Один из видов модернизации станков с ЧПУ – замена устаревших электронных блоков управления на более функциональные и компактные, выполненные на современной элементной базе. Однако в ходе работ по модернизации станков с ЧПУ возникают характерные проблемы электромагнитной совместимости. В докладе рассмотрены особенности электромагнитной совместимости оборудования, блоков и агрегатов станков с ЧПУ при проведении модернизации. На основе анализа факторов, характеризующих электромагнитную обстановку, типичных отказов электронной части системы управления станка с ЧПУ при испытаниях показана необходимость в развитии мероприятий по обеспечению ЭМС. Все мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости имеют целью не уменьшить ухудшение, а обеспечить полное выполнение всего функционала оборудования. Предложены общие решения, которые применимы при модернизации большинства станков с ЧПУ второго поколения.

Ключевые слова – модернизация станков с ЧПУ, системы управления ЧПУ, электромагнитная совместимость оборудования, ЭМС станков, проблемы электромагнитной совместимости.

Введение

Модернизация станков с ЧПУ является одним из актуальных и доступных мероприятий технического и технологического перевооружения производства для большинства предприятий. Эти мероприятия ведут к наращиванию производительности, росту качества продукции, к повышению эффективности и развитию производства. Один из распространенных видов модернизации станков с ЧПУ – замена устаревших электронных блоков управления на более функциональные и компактные, выполненные на современной элементной базе [1; 2]. После данного вида модернизации оборудование не уступает по эксплуатационно-техническим характеристикам современному оборудованию, а по надежности и крепости станины может даже превосходить их [3]. Интерфейс модернизированного станка с ЧПУ отвечает современным требованиям, обеспечивая загрузку программ с современных носителей информации, интеграцию в единые системы управления предприятиями, а также с CAD/CAM системами. Однако в ходе работ по модернизации станков с ЧПУ возникают характерные проблемы электромагнитной совместимости. Цель работы – анализ проблем электромагнитной совместимости, возникающих при модернизации станков с ЧПУ, и определение возможных путей их решения.

1. Виды проблем электромагнитной совместимости при модернизации станков с ЧПУ

Существует большое количество норм и требований, относящихся к обеспечению электромагнитной совместимости промышленного оборудования и станков. Они включают, например, документы, регламентирующие характеристики измерительного оборудования, параметры тестовых систем и методику измерений помех различной природы. Электромагнитная совместимость металлообрабатывающих станков регламентируется отдельными государственными стандартами. Они устанавливают требования по устойчивости к электромагнитным помехам, а также формализуют мероприятия по испытанию оборудования на помехоустойчивость [4; 5]. Определяя методику испытаний на электромагнитную совместимость, эти нормы устанавливают единые критерии, на основании которых может быть проведена оценка и серийно произведенных станков, и модернизированного оборудования.

Данные стандарты и регламенты рассматривают проблемы взаимного влияния оборудования в части электромагнитной совместимости станков между собой, надежной и бесперебойной эксплуатации различного оборудования в одном цеху, в том числе систем ЧПУ. Однако в ходе модернизации станков с ЧПУ возникают новые виды

проблем. Это электромагнитная совместимость новых электронных блоков управления с силовой электрической частью, блоками и агрегатами. А также это электромагнитная совместимость модернизированных станков при их интеграции в единую систему управления. При полной замене морально устаревшей системы ЧПУ на новую ее совместимость со старым оборудованием является одной из основных технических проблем.

Подавляющее большинство модернизируемых станков проектировалось задолго до массового распространения цифровой аппаратуры и, следовательно, без должной проработки вопросов ЭМС. В модернизируемых станках для управления используются сигналы амплитудой в десятки вольт или более. Поэтому уровни электромагнитных помех в станках с ЧПУ первого и второго поколений всегда выше, чем в современных. Уровни управляющих сигналов в современном цифровом оборудовании обычно не превышают единиц вольт, что делает его крайне восприимчивым к внешним помехам, особенно высокочастотным. Более того, отклонения от проектной документации при модернизации, старение заземляющих контактов, многочисленные изменения в конструкции часто приводят к дополнительному ухудшению электромагнитной обстановки. В результате уровни помех часто превосходят уровни устойчивой и надежной работы современного цифрового оборудования [6; 7].

Если на стенде при отладке новый блок управления точно отрабатывает все заданные функции и алгоритмы действий, то при его установке на станок вследствие проблем электромагнитной совместимости вполне вероятны сбои, ошибки, отклонения и отказы.

2. Электромагнитная обстановка при модернизации станков с ЧПУ

Новые цифровые блоки управления станками оказываются более компактными по сравнению с прежними системами ЧПУ. По аналогии со станками с ЧПУ последних поколений блоки индикации и устройства ввода и вывода информации целесообразнее размещать в непосредственной близости от станка. При этом громоздкие шкафы управляющих блоков могут быть убраны. Таким образом, в конструкцию станка также вносятся изменения, а электронные блоки размещаются в непосредственной близости от исполнительных механизмов [8].

В соответствии с классификацией среды по помехам, вызванным электромагнитным излу-

чением, данный случай можно отнести к классу 3 – «очень сильное электромагнитное излучение, вызванное оборудованием большой мощности в непосредственной близости от устройств», или к классу 4 – «очень сильное излучение» [9]. Новые цифровые системы управления можно отнести к слабощумным, в которых сигналы управления по проводам передаются на исполнительные устройства. По воздействию помех на такие изделия электромагнитную обстановку можно характеризовать как высокий уровень промышленных помех (класс 4), а в некоторых случаях как экстремальный уровень помех (класс X) [9].

Электромагнитная обстановка для каждого модернизированного станка с ЧПУ будет характеризоваться совокупностью воздействий от стороннего для него оборудования, от собственных узлов и агрегатов. Помехи создаются асинхронными электродвигателями, сварочным оборудованием, частотными преобразователями, силовыми кабельными линиями. Источники электромагнитного излучения распределены в пространстве весьма произвольно и случайно. Чем ближе они расположены к чувствительному к наводкам оборудованию, тем сильнее их влияние. Поэтому факторы, характеризующие электромагнитную обстановку для модернизированных станков с ЧПУ, можно разделить на характерные для любого предприятия и проявляющиеся при совмещении цифровой электроники с промышленным оборудованием. Первая группа факторов, характерных для предприятия:

1. Влияние другого производственного оборудования: низковольтного и высоковольтного, станков и оборудования, применяемых на объекте, линий электропитания, системы передачи сигналов (телефонные провода, сигнализация, наблюдение, управление, локальные сети и пр.).

2. Некачественно выполненное заземление.

3. Колебания напряжения в сетях питания.

Вторая группа факторов, характерных для модернизированного станка, связанных с наличием источников помех в самом оборудовании, с совмещением (в том числе конструктивным) мощного электрооборудования и чувствительных к электромагнитным воздействиям электронных блоков управления:

1. Влияние внешних воздействий на линии передачи сигналов управления. В том числе влияние электромагнитных полей, различного рода наводок.

2. Влияние узлов и агрегатов самого станка на электронную систему управления. В том числе

влияние внутренних воздействий: электромагнитных полей, различного рода наводок, – на линии передачи сигналов управления.

3. Отклонения, колебания, провалы и выбросы напряжения питания, изменение частоты и наличие постоянной составляющей в напряжении питания, а также переходные процессы при работе силовой части исполнительных механизмов.

4. Различного вида помехи и наводки, связанные с размещением силовых и слаботочных кабелей. В том числе индуктивное и емкостное воздействие.

Последняя группа факторов характеризует появление высокочастотных и низкочастотных помех, среди которых к тому же можно выделить синфазные и противофазные помехи. В станках с ЧПУ первого и второго поколения использована фазовая система управления электродвигателями. А в более поздних версиях станков – импульсные системы. Эти системы оказываются весьма чувствительными к таким воздействиям. Фазовая система управления является полностью аналоговой. При появлении внешних воздействий возможно изменение параметров аналоговой части схемы управления, обеспечивающих заданные уровни сигналов управления и согласование устройств. Также во всех аналоговых устройствах существует проблема точной передачи сигналов управления по проводам из-за действия помех и наводок.

В результате при замене устаревшей системы ЧПУ на современные, цифровые, электронные блоки возможна нестабильная работа оборудования: сбои, ошибки, отклонения и отказы. Тем не менее проведенный обзор литературы свидетельствует, что проблеме электромагнитной совместимости систем и узлов, теме электромагнитной обстановки и ее особенностей при модернизации станков с ЧПУ не уделяется достаточного внимания. Возможно, это связано с тем, что не существует единого метода, позволяющего однозначно решить проблему электромагнитной совместимости при модернизации станков с ЧПУ.

В каждом конкретном случае могут преобладать проблемы, связанные с электромагнитной обстановкой в цеху или с внутренним согласованием узлов и агрегатов. Появление отклонений и отказов, обусловленных проблемами электромагнитной совместимости, возможно даже после ввода модернизированного станка в строй, в процессе его эксплуатации. Например, при проникновении наводок в управляющие цепи возможно как постепенное снижение точности станка вследствие «пропусков» шагов двигателей, так и внезапный

отказ в виде полной остановки станка или, наоборот, включение подачи на максимальную скорость, что может привести к порче инструмента, заготовки, а также к повреждениям самого станка.

Типичные отказы электронной части системы управления станка с ЧПУ при испытаниях на ЭМС представлены в таблице [6].

В этой связи мероприятия по модернизации станков с ЧПУ должны предусматривать оценку электромагнитной обстановки. Обычно она осуществляется путем измерений и натурных испытаний и включает:

- оценку уровня напряженности электромагнитных полей в местах размещения оборудования;
- контроль сопротивлений оснований устройств, подключенных к заземляющему устройству;
- измерение сопротивления заземляющего устройства в целом;
- оценку потенциалов на элементах заземления и помех во вторичных цепях;
- измерение уровней помех во вторичных цепях при коммутации;
- оценку уровня помех и наводок в цепях управляющих сигналов;
- оценку уровней импульсных и постоянно действующих полей в широком диапазоне частот.

3. Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) при модернизации станков с ЧПУ

Традиционно мероприятия по обеспечению ЭМС-совместимости включают:

- организационное обеспечение ЭМС (организационные решения, оценка и планирование помеховой обстановки, нормативно-технические документы, направленные на исключение или снижение до приемлемого уровня электромагнитных помех между техническими средствами);
- экспертиза ЭМС (экспериментальное и (или) теоретическое исследование состояния обеспечения ЭМС технического средства в заданной электромагнитной обстановке);
- техническое обеспечение ЭМС (технические решения, направленные на улучшение характеристик их ЭМС);
- сертификация оборудования на соответствие требованиям ЭМС.

Компании, которые реконструируют обрабатывающие станки и центры, например, путем мо-

Табл.
Table

Микросекундные импульсные помехи	Перегорание плавких предохранителей. Выход из строя интерфейсных элементов. Перекрытие между цепями ввода-вывода и внутренними цепями аппаратуры, приводящие к выходу из строя основных логических элементов.
Наносекундные импульсные помехи	Ложное срабатывание индикаторов из-за изменения состояния соответствующих логических схем под действием помех. Перегрузка из-за срабатывания сторожевых таймеров и других средств самоконтроля. «Зависание» аппаратуры из-за появления фатальных ошибок в программных данных. Временный (до 3–5 мин) выход из строя схем на основе КМОП-логики. Невосстанавливаемое повреждение интегральных схем
Электростатический разряд	Перегрузка из-за срабатывания сторожевых таймеров и других средств самоконтроля. «Зависание» аппаратуры из-за появления фатальных ошибок в программных данных. Временный (до 3–5 мин) выход из строя схем на основе КМОП-логики. Невосстанавливаемое повреждение интегральных схем
Магнитные поля промышленной частоты	Появление наводок в цепях управляющих сигналов, приводящее к накоплению ошибок, отклонений и далее к сбою работы и отказам. Нарушение работы блока индикации, устройств ввода / вывода информации
Импульсные магнитные поля	Появление наводок в цепях управляющих сигналов, приводящее к накоплению ошибок, отклонений и далее к сбою работы и отказам. Нарушение работы блока индикации, устройств ввода / вывода информации

дернизации элементов управления ЧПУ, должны учитывать, что для таких действий может потребоваться доказательство соответствия требованиям безопасности и электромагнитной совместимости. Причем в различных случаях необходимо соответствие европейским требованиям с последующим нанесением на модернизированную продукцию СЕ-маркировки [10]. Или соответствие станка требованиям ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» и ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств», с учетом ГОСТ Р 51317.4 «Базовые стандарты РФ по ЭМС» и ГОСТ Р ИЕС 61508-5 «Оценка риска». Основанием для сертификации модернизированных станков с ЧПУ являются результаты их успешных испытаний, экспертизы ЭМС. Возможны следующие виды испытаний [11]:

- испытания на устойчивость к изменениям в системе электропитания;
- изменения уровня электромагнитных помех (помехоэмиссии);
- испытания на восприимчивость к кондуктивным помехам;
- испытания на устойчивость к электростатическим разрядам;

– испытания на устойчивость к воздействию магнитных полей;

– испытания на устойчивость к воздействию электромагнитных полей.

Технические решения по реконструкции станков могут включать в себя технические меры по обеспечению ЭМС. Эти меры в основном связаны с конкретным путем подавления помех путем предотвращения их распространения и действия:

1. Схемотехнические решения. Установка фильтров для подавления помех: синфазный дроссель, LC-фильтр по питанию, фильтрация цепей, в которые проникают наводки фильтрами с частотой среза выше пропускной способности данных цепей. Применение разделительных каскадов и согласующих цепей.

2. Обязательное использование экранированных кабелей для цепей управления. Эта мера эффективна от наведенных электромагнитных помех. Дополнительной мерой может быть использование ферритовых колец на сигнальных кабелях (в том случае, если помеха имеет импульсный характер).

3. Раздельная прокладка силовых кабелей и кабелей сигналов управления (например, сигналь-

ных кабелей датчиков обратной связи). Мера эффективна в случае электромагнитных помех, т. к. увеличение расстояния между кабелями снизит наводки за счет индуктивностей и емкостей.

4. Электрическое заземление силового блока ЧПУ. Для силовых цепей рекомендуется также использовать экранированные кабели или же укладывать кабели в металлической трубе. Эта мера также эффективна для наведенных помех и излучения.

5. Экранирование управляющих электронных блоков, а также установка экранов на помехоизлучающие элементы, которая обеспечивает разделение сигналов.

6. Осуществление правильного заземления. Улучшение состояния заземляющих устройств путем прокладки дополнительных заземлителей и восстановления нарушенных связей. Заземление должно быть произведено по кратчайшему пути. Мера эффективна для наведенных помех.

7. Конструктивные решения. Разнесение в ограниченном заданном пространстве агрегатов, узлов, блоков оборудования.

Задачу мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости модернизированного оборудования в общем случае можно определить следующим образом: для каждой группы оборудования, блоков, агрегатов в рассматриваемой интеграции и степени детализации заданы условия эксплуатации (расстояние, вид управления, технические характеристики и параметры, уровни напряженности электромагнитных полей в точках) и предъявлены требования по обеспечению критерия качества функционирования технических средств при воздействии помех. Причем в общем случае возможны следующие формулировки критериев [11]:

– Критерий А – воздействие электромагнитных помех никак не отражается на функциональных характеристиках оборудования, работа которого до, во время и после воздействия помехи происходит в полном соответствии с техническими условиями или стандартами;

– Критерий В – допускается временное ухудшение функциональных характеристик оборудования в момент воздействия помехи. После прекращения воздействия электромагнитной помехи

функционирование полностью восстанавливается без вмешательства обслуживающего персонала.

Иными словами, все мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости имеют целью не уменьшить ухудшение, а обеспечить полное выполнение всего функционала оборудования. Заданные критерии обеспечиваются техническими решениями (выбором режима работы оборудования, узлов, агрегатов) или изменением режима работы мешающего оборудования.

Заключение

Таким образом, в статье рассмотрены характерные проблемы электромагнитной совместимости, возникающие при модернизации станков с ЧПУ. В общем случае разделены виды проблем электромагнитной совместимости: взаимного влияния станков между собой; совместимости новых электронных блоков управления с силовой электрической частью, блоками и агрегатами; а также совместимости модернизированных станков при их интеграции в единую систему управления. Факторы, характеризующие электромагнитную обстановку для модернизированных станков с ЧПУ, разделены две группы: характерные при совместной эксплуатации группы оборудования на любом предприятии и проявляющиеся при совмещении цифровой электроники с промышленным оборудованием. Приведены типовые отказы электронной части системы управления станка с ЧПУ при испытаниях на ЭМС. Рассмотренные проблемы учитываются в предлагаемых технических решениях по модернизации, а также влияют на выбор средств и подходов по реализации современной управляющей части станков. В частности, предложены общие решения, которые, как правило, применимы при модернизации большинства станков с ЧПУ второго поколения, часто встречающихся еще на предприятиях и задействованных в технологических цепочках при производстве продукции.

Финансирование

Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер 075-03-2020-051/3 от 09.06.2020 (номер темы fzsu-2020-0021).

Список литературы

1. Босинзон М.А. Современные системы ЧПУ и их эксплуатация: учеб. для нач. проф. образования. 2-е изд., стер. / под ред. Б.И. Черпакова. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 192 с.
2. Платонов В.В., Майзель И.Г. Модернизация металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23, № 2. С. 285–295. DOI: <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2019-2-285-295>.

3. Фролов А.Ю. Модернизация станков с ЧПУ. URL: <http://engcrafts.com/item/406-modernizatsiya-stankov-s-chpu> (дата обращения: 15.06.2020).
4. ГОСТ EN 50370-2-2012. Электромагнитная совместимость технических средств. Станки металлообрабатывающие. Часть 2. Помехоустойчивость. М.: Стандартиформ, 2013. 34 с.
5. ГОСТ Р 51317.2.5-2000 (МЭК 61000-2-5-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2001. 40 с.
6. Корчагин В.А., Артюшенко В.М. Проблемы электромагнитной совместимости цифрового электротехнического оборудования на промышленных и бытовых объектах // Вестник Ассоциации вузов туризма и сервиса. 2009. Т. 13, № 4. С. 95.
7. Юрков Н.К., Андреев П.Г., Жумабаева А.С. Проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2015. Т. 1. С. 201.
8. Митряев К.Ф., Сазонов М.Б. Изучение конструкции станка 6М13ГН1. Самара: Самар. авиац. ин-т, 1992. 16 с.
9. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учеб. пособ. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 207 с.
10. Станки с числовым программным управлением, ЧПУ, CE-маркировка, сертификация. URL: <https://www.icqc.eu/ru/certifikacija-ce/ce-sertifikaciya-oborudovaniya/metalloobrabatyvayushchie-stanki/s-chislovym-programmnyim-upravleniem-chpu> (дата обращения: 15.06.2020).
11. Обеспечение электромагнитной совместимости. URL: https://portal.tpu.ru/shared/u/ultratone/uchebnaya_rabota/tab/lecture.pdf (дата обращения: 17.06.2020).

References

1. Bosinzon M.A. Modern CNC Systems and Their Operation. Textbook for The First Prof. Education. 2nd ed., standard / ed. by B.I. Cherpakov. Moscow: Izdatel'skij tsentr «Akademija», 2008, 192 p. (In Russ.)
2. Platonov V.V., Majzel' I.G. Modernization of CNC machine tools. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 285–295. DOI: <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2019-2-285-295>. (In Russ.)
3. Frolov A.Yu. *Modernization of CNC machines*. URL: <http://engcrafts.com/item/406-modernizatsiya-stankov-s-chpu> (accessed 15.06.2020). (In Russ.)
4. GOST EN 50370-2-2012. *Electromagnetic Compatibility of Technical Equipment. Metalworking Machines. Part 2. Immunity*. Moscow: Standartinform, 2013, 34 p. (In Russ.)
5. GOST R 51317.2.5-2000 (IEC 61000-2-5-95). *Electromagnetic Compatibility of Technical Means. Electromagnetic Environment. Classification of Electromagnetic Interference in the Locations of Technical Equipment*. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov, 2001, 40 p. (In Russ.)
6. Korchagin V.A., Artjushenko V.M. Problems of electromagnetic compatibility of digital electrical equipment at industrial and domestic facilities. *Vestnik Assotsiatsii vuzov turizma i servisa*, 2009, vol. 13, no. 4, p. 95. (In Russ.)
7. Jurkov N.K., Andreev P.G., Zhumabaeva A.S. The problem of ensuring the electromagnetic compatibility of radio electronic means. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»*, 2015, vol. 1, p. 201. (In Russ.)
8. Mitrjaev K.F., Sazonov M.B. *Study of the Design of the Machine 6M13GN1*. Samara: Samar. aviats. in-t, 1992, 16 p. (In Russ.)
9. Harlov N.N. *Electromagnetic Compatibility in the Electric Power Industry*. Textbook. Tomsk: Izd-vo TPU, 2007, 207 p. (In Russ.)
10. *Numerical Control Machines, CNC, CE Marking, Certification*. URL: <https://www.icqc.eu/ru/certifikacija-ce/ce-sertifikaciya-oborudovaniya/metalloobrabatyvayushchie-stanki/s-chislovym-programmnyim-upravleniem-chpu> (accessed 15.06.2020).
11. *Ensuring Electromagnetic Compatibility*. URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/u/ULTRATONE/uchebnaya_rabota/Tab/Lecture.pdf (accessed 17.06.2020).

Physics of Wave Processes and Radio Systems 2020, vol. 23, no. 3, pp. 90–96

DOI 10.18469/1810-3189.2020.23.3.90-96

Received 29 June 2020
Accepted 23 July 2020

Electromagnetic compatibility in CNC machines upgrade

Arcadiy Yu. Antonov, Dmitriy P. Danilaev 

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI
10, K. Marx Street,
Kazan, 420111, Russia

Abstract – One of the types of modernization of CNC machines is the replacement of outdated electronic control units with more functional and compact ones, made on a modern element base. However, in the course of work on the modernization of CNC machines, characteristic problems of electromagnetic compatibility arise. The report examines the features of the electromagnetic compatibility of equipment, blocks and assemblies of CNC machines during modernization. Based on the

analysis of the factors characterizing the electromagnetic environment, typical failures of the electronic part of the control system of a CNC machine tool during testing, the need for the development of measures to ensure EMC is shown. All measures to ensure electromagnetic compatibility are not intended to reduce degradation, but to ensure the full implementation of all equipment functionality. General solutions are proposed that are applicable to the modernization of most second-generation CNC machine tools.

Keywords – modernization of CNC machines, CNC control systems, electromagnetic compatibility of equipment, EMC in machine tools, electromagnetic compatibility problems.

Информация об авторах

Антонов Аркадий Юрьевич, ассистент кафедры электронных и квантовых средств передачи информации Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева - КАИ.

Область научных интересов: теория и практика человеко-машинных систем управления; проблемно-ориентированные системы, основанные на знаниях: средства моделирования, создания, анализа и поддержки, экспертные системы; инженерно-технические и информационные автоматизированные системы мониторинга социальных и технических систем; адаптивное, интеллектуальное управление; радиоэлектронные средства и системы сбора, обработки, передачи информации.

E-mail: ayantonov@kai.ru

Данилаев Дмитрий Петрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электронных и квантовых средств передачи информации Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева - КАИ.

Область научных интересов: теория и практика человеко-машинных систем управления; проблемно-ориентированные системы, основанные на знаниях: средства моделирования, создания, анализа и поддержки, экспертные системы; инженерно-технические и информационные автоматизированные системы мониторинга социальных и технических систем; адаптивное, интеллектуальное управление; радиоэлектронные средства и системы сбора, обработки, передачи информации.

E-mail: dpdanielaev@kai.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6536-2334>

Information about the Authors

Dmitriy P. Danilaev, Doctor of Technical Sciences, associate professor, head of the Department of Electronic and Quantum Means of Information Transmission, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan, Russia.

Research interests: theory and practice of man-machine control systems; problem-oriented knowledge-based systems: tools for modeling, creation, analysis and support, expert systems; engineering and technical and information automated systems for monitoring social and technical systems; adaptive, intelligent control; radio-electronic means and systems for collecting, processing, transmitting information.

E-mail: dpdanielaev@kai.ru

Arcadiy Yu. Antonov, assistant professor of the Department of Electronic and Quantum Means of Information Transmission, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan, Russia.

Research interests: theory and practice of man-machine control systems; problem-oriented knowledge-based systems: tools for modeling, creation, analysis and support, expert systems; engineering and technical and information automated systems for monitoring social and technical systems; adaptive, intelligent control; radio-electronic means and systems for collecting, processing, transmitting information.

E-mail: ayantonov@kai.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6536-2334>