

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

УДК 62-522.07

*На правах рукописи*

**ХАЕЦКИЙ**  
**Виктор Анатольевич**

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ  
РЕАЛИЗАЦИИ ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ МЕХАТРОННЫХ  
СИСТЕМ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПЕРИФЕРИЕЙ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени  
магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 – Компьютерные технологии  
проектирования электронных систем

Минск 2019

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **ПОДДУБКО Сергей Николаевич**,  
кандидат технических наук, доцент, генеральный директор ГНУ ОИМ НАН РБ

Рецензент: **ПОЛУБОК Владислав Анатольевич**,  
кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер-программист Республиканского унитарного предприятия «Центр информационных технологий Национального статистического комитета Республики Беларусь»

Защита диссертации состоится «5» февраля 2019 г. года в 9<sup>00</sup> часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

Постоянно растущее количество транспортных средств на дорогах создает негативные условия для снижения эксплуатационной безопасности мобильных машин и повышение безопасности транспортных средств становится важной, постоянно расширяющейся задачей в процессе развития безопасности среды обитания человеческого общества.

Повышать безопасность транспорта можно осуществлять по разным направлениям, например:

- совершенствованием организации дорожного движения;
- улучшением подготовки водителей;
- установкой систем активной помощи водителю;
- совершенствованием дорожного покрытия и улучшением его обслуживания;
- автоматизацией процессов управления узлами и агрегатами мобильных машин, и машинами в целом.

В настоящее время на автомобилях, производимых серийно на ОАО «Минский автозавод», применяются только механические коробки передач, управляемые водителем вручную. Поэтому для ОАО «МАЗ» перспективной задачей является автоматизация работы коробки передач.

Автоматическая коробка передач позволяет водителю не отвлекаться на рутинные операции и сосредоточиться на процессе вождения.

Автоматизация механической коробки передач - проблема сложная как технически, так и алгоритмически. Опыт такой работы есть как у производителей грузовых машин, являющихся мировыми автогигантами, так и у предприятия ОАО «МАЗ».

В конце 1990-х годов прошлого века дочерней компанией фирмы *Volvo Trucks* была разработана автоматическая коробка передач, управляемая системой *Volvo I-Shift* для новых моделей тягачей серий *FH* и *FM*, и была представлена миру в 2001 году.

Эти автомобили оснащались механической несинхронизированной коробкой передач, управление которой осуществлялось электронной системой управления, а в качестве исполнительных устройств использовались пневматические актуаторы.

Относительно недавно, компания *Volvo Trucks*, развивая направление автоматизации механических КПП, представила новую, первую в мире КПП для грузовых автомобилей с двумя сцеплениями.[1]

Попытки разработки автоматической системы управления КПП предпринимались и на ОАО «МАЗ» в процессе разработки автомобиля МАЗ-2000 «Перестройка» – модульного магистрального автопоезда. Система требовала проведения большого объема научных исследований опытно-конструкторских разработок и эксплуатационных испытаний для того, чтобы стать штатной системой автомобиля. Но после распада СССР проект «МАЗ-2000 «Перестройка» был закрыт, а, соответственно, и разработка системы

автоматизации КПП была остановлена.

Позже, ОАО «МАЗ проводились работы по созданию различных исполнительных механизмов для автоматизации механической КПП и разрабатывались электронные системы для управления ими, но эта работа не была методичной и выполнялась различными группами разработчиков не связанных между собой. Поэтому, накоплен определенный опыт, который может стать хорошим подспорьем при планомерном проведении разработки автоматической КПП для автомобилей МАЗ.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Грузовые машины МАЗ на данный момент оснащаются только механическими коробками передач, в то время как многие зарубежные производители применяют системы автоматизации работы механических КПП. Применение для автоматизации систем специализированных систем с центральной архитектурой довольно дорого и не всегда целесообразно. В связи с этим актуальной является разработка методов и алгоритмов создания отечественных мехатронных систем с открытой распределенной архитектурой и интеллектуальной периферией.

### **Степень разработанности проблемы**

Разработка системы управления автоматической коробкой передач для автомобилей МАЗ осуществлялось на базе разрабатываемой Белорусской Национальной Академией наук программно-аппаратной платформы, с использованием работ белорусских ученых: Красневский Л.Г., Белевич А.В.

### **Цели и задачи исследования**

Целью диссертации является разработка методики разработки мехатронных систем с открытой распределенной архитектурой и интеллектуальной периферией.

Поставленная цель работы определяет следующие основные задачи:

- 1) Провести обзор направлений развития бортовых мехатронных систем мобильных машин.
- 2) Рассмотреть задачу автоматизации механической КПП для автомобилей МАЗ.
- 3) Реализовать систему автоматического управления КПП автомобилей МАЗ.

### **Область исследования**

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли работы белорусских ученых в области проектирования мехатронных систем.

*Информационная база* исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

### **Научная новизна**

*Научная новизна* и значимость заключается в формировании и исследовании методов и алгоритмов создания мехатронных систем.

*Теоретическая значимость* работы заключается в детальном обзоре методов и алгоритмов проектировки мехатронных систем.

*Практическая значимость* диссертации состоит в снижении расходов на разработку и модификацию систем управления мехатронными системами, а также улучшение унификации применяемых в системе управления модулей.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Результаты обзора направлений развития бортовых мехатронных систем мобильных машин.
2. Постановка задачи автоматизации механической КПП для автомобилей МАЗ.
3. Реализация системы автоматического управления КПП автомобилей МАЗ.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 54-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 2018 г.), XVIII Международной научно-практической конференции *Advances in Science and Technology* (Воронеж, 2019), публиковались в международном журнале «Научные вести».

### **Публикации**

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах. В их числе 6 статьи в сборниках материалов научных конференций.

Общий объем публикаций по теме диссертационной работы составляет 29 авторских листов.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе произведен обзор применяемых в создании распределенных систем архитектур, преимущества открытой распределенной системы с интеллектуальной периферией, принципов ЕПАП и применяемых в бортовых системах каналах связи. Во второй главе рассмотрена задача автоматизации механической КПП для автомобилей МАЗ. В третьей главе реализована система автоматического управления КПП для автомобилей МАЗ, а также приведена методика разработки подобных систем. В приложении представлены публикации соискателя, акт внедрения и графический материал.

Общий объем диссертационной работы составляет 83 страницы. Из них 45 страниц основного текста, 22 иллюстрации на 19 страницах, библиографический список из 31 наименований на 2 страницах, список собственных публикаций соискателя из 6 наименований на 1 странице, 4 приложения на 33 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы безопасности эксплуатации мобильных машин, способы улучшения безопасности эксплуатации мобильных машин.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В **первой главе** произведен обзор направлений развития бортовых мехатронных систем мобильных машин.

Для автоматизации управления узлами и агрегатами мобильных машин в настоящее время применяются мехатронные системы, эксплуатационные свойства которых в значительной степени определяются их архитектурой[1].

При автоматизации процессов управления узлами и агрегатами мобильных машин применяются мехатронные системы с архитектурами трёх типов:

- центральная архитектура;
- зонально-распределенная архитектура;
- распределенная архитектура с интеллектуальной периферией.

Широкое распространение получили системы с централизованной архитектурой, которая при практическом применении обладает рядом следующих недостатков, связанных с использованием для реализации всех процессов управления одного процессора:

- проблема аппаратной реализации.
- проблема программного обеспечения.
- инженерная проблема.
- экономическая проблема.

Возможность кардинально решить выше обозначенные проблемы позволяет переход от зонально-распределенной архитектуры к распределенной архитектуре систем с интеллектуальной периферией.

В таких системах задача управления исполнительными механизмами и обработки информации с датчиков распределяется по периферийным интеллектуальным компонентам системы, а главный алгоритм управления системой локализуется в центральном электронном модуле.

Такой способ создания электронных систем мобильных машин разрабатывается и развивается в «Единой программно-аппаратной платформе» (ЕПАП). В рамках ЕПАП разрабатываются:

- высокоинтегрированные электронных модули, которые предназначены для встраивания в датчики, задатчики и исполнительные устройства мехатронных систем;
- протоколы сетевого обмена, командный язык и программы для интеллектуальных периферийных устройств;
- электронные системы управления для мобильных машин.

Унификация компонентов ЕПАП позволяет во много раз увеличить серийность выпуска компонентов и, таким образом, сделать создание различных электронных систем для мобильных машин отечественного производства экономически выгодным.

**Во второй главе** рассмотрена задача автоматизации механической КПП для автомобилей МАЗ.

В настоящее время на автомобилях МАЗ применяются только механические коробки передач.

В состав механической коробки передач грузовых автомобилей входит 3 узла:

- коробка передач (КП);
- демультипликатор;
- сцепление.

На машины устанавливаются шести- или восьмиступенчатые механические коробки передач разных производителей.

Практически во всех комплектациях присутствуют демультипликаторы (понижающая передача).

Силовые агрегаты автомобилей, производимых на Минском автомобильном заводе, оснащаются двухдисковым фрикционным сцеплением. Управление сцеплением происходит системой рычагов с

пневматическим усилителем.

Коробки передач с двойным сцеплением на машинах производства Минского автомобильного завода не применяются.

Шестиступенчатая коробка передач устанавливается совместно с демультпликатором (пониженная передача).

Органом управления коробкой передач является рычаг КПП. Штоки КПП переводятся в необходимые положения через систему тяг.

Для управления коробкой передач может применяться несколько вариантов исполнительных механизмов и их комбинации.

Один из вариантов исполнительных механизмов для переключения передач – пневматические цилиндры. Расположение цилиндров может быть двух вариантов:

- крестообразное – когда два пневматических цилиндра, расположены перпендикулярно друг другу. Один из них передвигает рычаг между штоками, другой – переводит штоки в конечные положения включения передач;

- продольное расположение трехпозиционных пневмоцилиндров – каждый шток управляется пневматическим цилиндром, имеющим три точки фиксированных положений (выдвинутый полностью шток цилиндра, полностью втянутый шток цилиндра и среднее положение штока цилиндра). Каждый шток КП оснащается своим трехпозиционным пневмоцилиндром.

Управление сцеплением осуществляется поступательным перемещением выжимного рычага. Такое перемещение может осуществляться как двухпозиционным пневмоцилиндром, так и электроприводом с червячным механизмом. Для управления сцеплением достаточно установки одного исполнительного механизма.

Все автомобили МАЗ уже оборудованы пневмосистемой тормозов, поэтому целесообразно использовать ее средства для организации процесса переключения передач в КПП, т.е. использовать в качестве актуаторов пневматические цилиндры. Для особых случаев комплектации автомобилей можно применять в качестве актуаторов механизмы с электроприводом.

При разработке системы управления коробкой передач определяются параметры (физические величины), которые необходимы для управления работой КПП.

Необходимость в инициализации процесса переключения передач определяется по соотношению частот вращения колес автомобиля и коленчатого вала двигателя.

Управление механизмом сцепления осуществляется по разности частот вращения входного вала КПП и коленчатого вала двигателя.

Для управления процессом переключения передач в КПП необходимо знать частоты вращения промежуточных валов КПП, если они есть.

Для управления демультпликатором необходимо знать частоты вращения его входного и выходного валов.

Применение пневмоцилиндров в актуаторах системы автоматического

управления КПП требует постоянного контроля за давлением и температурой воздуха в пневмосистеме автомобиля.

Для организации интерфейса «человек – система» в качестве задатчиков режимов (органов управления) можно использовать следующие устройства:

- подрулевой переключатель;
- специализированный избиратель режимов (например – джойстик);
- кнопочную панель.

Количество фиксированных положений для каждого из органов управления определяется количеством режимов работы системы управления.

Для информирования водителя о режимах работы АКП, ее параметрах и ее аварийных состояниях необходимо организовать вывод графической информации от системы автоматического управления АКП на специализированный индикатор или на панель индикации совместного пользования, например на приборную панель автомобиля.

Параметры, подлежащие отображению на приборной панели автомобиля:

- выбранный режим управления КПП;
- в режиме ручного переключения передач (а при необходимости и в режиме автоматического переключения) на устройстве индикации отображается выбранная передача;
- обязательной функцией для индикации на приборной панели является отображение неисправностей системы управления и ошибок электронных узлов системы.

Индикацию выбранных выше параметров можно осуществлять на приборной панели.

Бортовые системы современных автомобилей объединены в одну иерархическую сеть посредством CAN-шины и взаимодействуют между собой используя протокол стандарта J1939.

Выбирая канал связи разрабатываемой мехатронной системы, предпочтительно выбирать вышеупомянутый стандарт для общения с другими системами.

Обмен информацией между электронными блоками зонального управления будет производиться также по каналу CAN, однако стандарт сообщений блоков, входящих в состав системы управления коробкой передач, в данный момент находится на стадии разработки.

**В третьей главе** реализована система автоматического управления КПП автомобилей МАЗ.

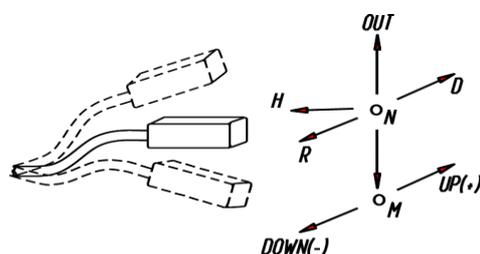
В качестве избирателя режимов системы автоматического управления АКП подрулевого переключателя.

Подрулевой переключатель обеспечивает выбор следующих режимов работы системы:

- переключение режимов "Автомат/Ручной режим";
- принудительное переключение передач "Вверх/Вниз";
- переключение режимов "Экономичный/Скоростной";

- включение режима "Накат".

На рисунке 1 представлена предполагаемая схема перемещения рычага переключателя для выбора различных режимов работы системы управления коробкой передач.



**Рисунок 1 – Предполагаемая схема включения различных режимов работы системы управления коробкой передач**

Графическая информация о работе системы автоматического управления АКП выводится водителю на ЖК панель щитка приборов.

В состав системы автоматического управления АКП включены:

- датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- датчик частоты вращения входного вала КПП;
- датчик частоты вращения выходного вала КПП;
- датчик частоты вращения выходного вала демультипликатора;
- три аналоговых датчика угла поворота, отражающие перемещения штоков пневмоцилиндров;
- девять дискретных датчиков конечных положений штоков пневматических цилиндров;
- один дискретный датчик конечного положения для мультипликатора;
- один дискретный датчик аварийного давления воздуха в пневмосистеме;
- один дискретный датчик аварийной температуры воздуха в пневмосистеме;
- один аналоговый датчик давления воздуха в пневмосистеме .

В состав системы автоматического управления АКП включаются следующие исполнительные механизмы:

- механизм управления сцеплением;
- механизм выбора и переключения передач;
- механизм управления демультипликатором.

Механизм управления сцеплением выполнен на пневмоциindre, осуществляющем поступательное перемещение выжимного рычага сцепления.

Механизм управления выбором и переключением передач – с крестообразным расположением пневмоцилиндров. Механизм устанавливается на крышке коробки передач вместо дистанционного механизма ручного переключения передач водителем.

При перемещении вперед или назад осуществляется включение конкретной передачи.

Все перемещения селектора выполняют два пневмоцилиндра. Один пневмоцилиндр позволяет перемещать селектор для выбора трех направлений. Другой пневмоцилиндр позволяет перемещать селектор вдоль выбранного направления.

Механизм управление демультипликатором - штатный. Включение или выключение демультипликатора осуществляется с помощью электропневмоклапана.

Система автоматического управления АКП включает в свой состав три самостоятельных узла зонального резидентного управления:

- узел управления сцеплением;
- узел управления механизмом выбора и включения передач;
- узла управления демультипликатором.

Каждый из этих узлов управления имеет структуру сети, в состав которой входя системный концентратор с функцией ЗУРУ и ряд ПИПУ, управляющих периферийными устройствами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Проведен обзор направлений развития бортовых мехатронных систем мобильных машин.

2. Рассмотрена задача автоматизации механической КПП для автомобилей МАЗ. Описаны требования к контролю параметров работы системы управления КПП, описаны требования к исполнительным механизмам, управляющим КПП, описаны требования к органам управления системой управления КПП.

3. В результате разработки реализована система автоматического управления КПП автомобилей МАЗ, описаны технические требования и техническое задание к разработке бортовой мехатронной системе, приведена методика разработки мехатронных систем, основанных на принципах единой программно-аппаратной платформы.

### Рекомендации по практическому использованию

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Программно-технические средства многопрофильных систем».

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### *Тезисы конференций*

1. Применение распределенных систем в автомобилях / Хаецкий В.А. // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 года / отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск : БГУИР, 2018. – С. 103-104.

### *Статьи в сборниках научных трудов*

2. Оценка частоты передачи информации в сеть с интеллектуальных датчиков физических величин, использующихся в системе управления коробкой передач, для системы управления / Хаецкий В.А. // XVIII Международная научно-практическая конференция Advances in Science and Technology. – Москва, 2019. – Принято в печать.

3. Экспериментальная оценка частоты передачи информации в сеть с интеллектуальных датчиков физических величин, использующихся в системе управления коробкой передач, для системы управления» / Хаецкий В.А. // XVIII Международная научно-практическая конференция Advances in Science and Technology. – Москва, 2019. – Принято в печать.

4. Определение возможных органов управления системой управления автоматической коробкой передач с открытой распределенной архитектурой и интеллектуальной периферией / Хаецкий В.А. // Международный журнал «Научные вести» – 2019. – Принято в печать.

5. Контроль параметров работы системы управления автоматической коробкой передач на базе открытой распределенной мехатронной системы с интеллектуальной периферией / Хаецкий В.А. // Международный журнал «Научные вести» – 2019. – Принято в печать.

6. Применение принципов единой программно-аппаратной платформы в мехатронных системах/ Хаецкий В.А. // Международный журнал «Научные вести». – 2019. – Принято в печать.

## РЭЗІЮМЭ

Хаецкі Віктар Анатольевіч

### Метады і алгарытмы праграма-апаратнай рэалізацыі адкрытых размеркаваных мехатронных сістэм з інтэлектуальнай перыферыяй

**Ключавыя словы:** сістэма кіравання, мехатронных сістэма, інтэлектуальная перыферыя.

**Мэта працы:** распрацоўка сістэмы кіравання механічнай КПП для аўтамабіляў.

**Атрыманья вынікі і іх навізна:** выраблены агляд кірункаў развіцця бартавых мехатронных сістэм мабільных машын. Разгледжаны архітэктуры пабудовы сістэм кіравання меахатроннымі сістэмамі. Найбольш перспектыўным, тэхнічна і эканамічна абгрунтаваным з'яўляецца прымяненне адкрытай размеркаванай мехатронных сістэмы з інтэлектуальнай перыферыяй. Разгледжана задача аўтаматызацыі механічнай КПП для аўтамабіляў МАЗ. Апісаны патрабаванні да выканаўчым механізмам, датчыкам, органам кіравання, сфарміравана ТЗ. Распрацавана сістэма кіравання механічнай КПП аўтамабіляў МАЗ. Прыведзена метадыка распрацоўкі мехатронных сістэм.

**Ступень выкарыстання:** вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-кампутарны сістэм ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» у навучальны працэс «Праграма-тэхнічныя сродкі шматпрофільных сістэм».

**Вобласць ужывання:** мехатронных сістэмы.

## РЕЗЮМЕ

Хаецкий Виктор Анатольевич

### Методы и алгоритмы программно-аппаратной реализации открытых распределенных мехатронных систем с интеллектуальной периферией

**Ключевые слова:** система управления, мехатронная система, интеллектуальная периферия.

**Цель работы:** разработка системы управления механической КПП для автомобилей.

**Полученные результаты и их новизна:** произведен обзор направлений развития бортовых мехатронных систем мобильных машин. Рассмотрены архитектуры построения систем управления мехатронными системами. Наиболее перспективным, технически и экономически обоснованным является применение открытой распределенной мехатронной системы с интеллектуальной периферией. Рассмотрена задача автоматизации механической КПП для автомобилей МАЗ. Описаны требования к исполнительным механизмам, датчикам, органам управления, сформировано ТЗ. Разработана система управления механической КПП автомобилей МАЗ. Приведена методика разработки мехатронных систем.

**Степень использования:** результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный процесс «Программно-технические средства многопрофильных систем».

**Область применения:** мехатронные системы.

## SUMMARY

**Khaetskiy Viktor Anatolyevich**

### **Methods and algorithms for software and hardware implementation of open distributed mechatronic systems with intelligent peripherals**

**Keywords:** control system, mechatronic system, intellectual periphery.

Purpose of the work: development of a manual transmission control system for cars.

**The obtained results and their novelty:** a review of the development directions of onboard mechatronic systems of mobile machines. Architectures of building control systems for mechatronic systems are considered. The most promising, technically and economically feasible is the use of an open distributed mechatronic system with intelligent peripherals. The task of automating manual transmission for MAZ vehicles is considered. Describes the requirements for actuators, sensors, controls, formed TK. A control system for the mechanical gearbox of MAZ vehicles has been developed. The technique of developing mechatronic systems is given.

**Degree of use:** the results were introduced into the educational process at the Department of Information and Computer Systems Design of the educational institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics” in the educational process “Software and hardware of multi-profile systems”.

**Scope:** mechatronic systems.