

УДК 004.8:629.3

**С. А. Рынкевич, канд. техн. наук, доц.****АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГМП**

Рассмотрена проблема автоматизации управления и диагностирования гидромеханических передач мобильных машин и обозначены пути ее решения. Отмечена перспективность интеллектуальных и информационных технологий в автоматизации управления и диагностирования механизмов транспортных средств. Предложена структура комплексной бортовой системы управления и диагностирования гидромеханической передачи автомобиля.

Для повышения конкурентоспособности отечественной автотранспортной техники и совершенствования потребительских качеств в современных рыночных условиях необходима ее комплексная автоматизация. Применение бортовой микроэлектроники создает для этого хорошие предпосылки. Адаптивное интеллектуальное управление энергетическими режимами автотранспортного средства (АТС) достаточно перспективно с точки зрения наиболее полной реализации его потенциальных возможностей, улучшения показателей эффективности, обеспечения безопасности и комфорта [1, 2].

Поставленная в статье проблема включает в себя несколько направлений, которые описаны ниже.

**Автоматизация управления ГМП**

Гидромеханические передачи (ГМП) находят широкое применение на городских автобусах, карьерных автомобилях-самосвалах, легковых автомобилях среднего и большого классов. В состав ГМП входят механическая многоступенчатая коробка передач (КП) и гидродинамический трансформатор (ГДТ). Переключение ступеней КП и блокирование ГДТ осуществляется фрикционными элементами (муфтами и тормозами), управление которыми легко поддается автоматизации. Поэтому современные ГМП выполняют с автоматическим управлением. Автоматизация управления позволяет существенно облегчить труд водителя, повысить безопасность АТС и получить более высокие

показатели эффективности по сравнению с аналогичными транспортными средствами с механической трансмиссией. Эффективность применения ГМП во многом определяется характеристиками управления, поэтому вопросу их выбора уделяют большое внимание конструкторы и исследователи.

Проблемам исследования и проектирования автоматизированных систем управления, создания методологических основ автоматизации транспортных средств, разработки алгоритмов функционирования систем автоматического управления различными мобильными машинами посвятили свои труды такие ученые, как М. А. Айзерман, М. М. Арановский, М. М. Белоус, М. С. Высоцкий, С. Д. Галюжин, О. И. Гируцкий, Н. Н. Горбатенко, Л. И. Гром-Мазничевский, Ю. К. Есеновский-Лашков, Ю. М. Захарик, В. В. Кацыгин, Г. Коралевски, Л. В. Крайнык, Л. Г. Красневский, С. К. Крутолевич, И. П. Ксенович, А. С. Литвинов, В. И. Мрочек, А. Н. Нарбут, В. А. Петров, В. Ф. Платонов, Б. И. Плужников, А. А. Полунган, Д. Г. Поляк, О. С. Руктешель, А. С. Солонский, В.П. Тарасик, А. А. Токарев, Я. Е. Фаробин, В. Ф. Чабан, Е. А. Чудаков, В. А. Широченко, Н. Н. Яценко и др. Их исследованиями предопределены основные теоретические предпосылки и тенденции при автоматизации АТС.

К настоящему времени коллективом кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета под ру-

ководством проф. В. П. Тарасика выполнены существенные научные разработки в области теории и проектирования алгоритмов управления и исполнительных механизмов автоматических систем [1–3]. Разработаны и запатентованы способы управления и конструкции устройств, реализующих алгоритмы управления [4–10].

В процессе многолетних (с 1999 по 2007 г.) исследований учеными кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета решен ряд задач, связанных с разработкой алгоритмов нечеткого адаптивного управления энергетическими режимами для отечественных грузовых автомобилей, автобусов и гусеничных машин [2]. Значительная часть работ проводилась по заданию ГНТП «Белавтотракторостроение». Многие работы выполнялись по госбюджетной тематике и хоздоговорам с ведущими отечественными предприятиями автомобильной промышленности.

В настоящее время работы продолжают в рамках ГНТП «Машиностроение» (подпрограммы «Карьерная техника»).

### **Автоматизация диагностирования ГМП**

В процессе управления АТС должны неразрывно решаться задачи определения технического состояния его механизмов, т. е. задачи диагностирования, контроля, прогнозирования. С появлением средств бортовой микроэлектроники вопросы обеспечения автоматизации процессов диагностирования приобретают особую актуальность.

Исследованием проблем диагностирования механизмов мобильных машин, разработкой теоретических вопросов технического диагностирования занимались И. Н. Аринин, Т. М. Башта, Н. В. Богдан, М. Д. Генкин, Н. Я. Говорущенко, В. В. Капустин, Ю. Д. Карпиевич, Л. Г. Красневский, Е. А. Никитин, М. И. Жилевич, Р. А. Макаров, А. Н. Максименко, А. В. Мозгалевский, В. И. Присс, А. Г. Сергеев, Т. А. Сырицин, Р. Шадюль, В. Ф. Яков-

лев. В то же время методы и методики, используемые большинством авторов, имеют ряд ограничений, предназначены для решения частных вопросов автоматизации и не позволяют эффективно решать задачи синтеза адаптивных систем управления и их характеристик, учитывающих большое разнообразие параметров, условий и ситуаций, которые имеют место при эксплуатации автотранспортных средств, и обладающих к тому же свойствами, присущими логическому мышлению человека. Неопределенность и нечеткость условий функционирования объектов автоматизации вносят огромные трудности в процесс обработки и анализа огромной информации и не позволяют осуществлять управление этими объектами, контроль их механизмов, защиту и другие функции по однозначным характеристикам, получаемым традиционно известными методами. Отмеченные аспекты проблемы автоматизации АТС требуют использования других методов и новой методологии. Поскольку при автоматизации АТС нужно учитывать такое огромное количество факторов и принимать во внимание все рассмотренные выше обстоятельства, то решить проблему детерминированными и однозначными алгоритмами управления невозможно по нескольким причинам. Во-первых, в случае реализации таких алгоритмов все равно самое совершенное логическое устройство или самый современный процессор не сможет осуществлять управление системой в реальном режиме времени. Во-вторых, и это главное: данная проблема настолько сложна, что на сегодняшний день создать эффективную модель, учитывающую отмеченное многообразие всевозможных обстоятельств, просто невозможно. Опубликованные работы по диагностированию мобильных машин носят локальный характер и посвящены использованию методов оценки техни-

ческого состояния отдельных механизмов преимущественно стационарными или переносными техническими средствами. При этом отсутствует системный теоретический подход к проблеме диагностирования мобильных машин, не разработаны методологические вопросы технического диагностирования на основе современных средств и новых технологий. Кроме того, большинство работ посвящено косвенным методам исследования. Применение прямых методов в инженерной практике при решении задач диагностирования сдерживается сложностью математического описания и анализа внутренних динамических процессов в объекте, что ставит проблему дальнейшего развития и совершенствования методов технического диагностирования. Совершенно очевидно, что для решения отмеченных проблем необходимы новые подходы, пути и методы, отличные от классических. Эти пути и методы должны быть, во-первых, концептуально обоснованы, во-вторых, должны основываться на фундаментальных теоретических разработках и соответствующем математическом аппарате. Современный этап развития техники характеризуется широким внедрением в системы управления микроэлектроники, позволяющей обеспечить комплексную автоматизацию машин и технических комплексов, включающую все рассмотренные виды автоматизации. Автоматические устройства в этом случае способны выполнять одновременно множество функций. Анализ состояния проблемы автоматизации управления АТС показывает, что классическая теория автоматического управления не дает возможности учета всего разнообразия условий функционирования автомобиля. В связи с этим эффективность создаваемых систем на ее научных принципах оказывается, чаще всего, ниже ожидаемой.

Бесспорное первенство в решении проблемы автоматизации диагностирования принадлежит интеллектуальным технологиям (технологиям искусственного

интеллекта (ИИ)), являющим собой принципиально новый приоритетный уровень автоматизации мобильных машин [3].

### **Применение интеллектуальных и информационных технологий в автоматизации управления и диагностирования**

Одна из современных технологий ИИ, которая относится к приоритетным направлениям в автоматизации и довольно широко используется на зарубежных автомобилях, – это нечеткая логика управления [2, 3]. Ее также относят к новым информационным технологиям, называя технологией «мягких вычислений».

Многие грузовые и легковые автомобили различных марок используют так называемое нечеткое управление трансмиссией, двигателем, тормозной системой и другими механизмами. При этом здесь зачастую используется обобщенное понятие: управление «энергетическими режимами» автомобиля, под которым подразумевается решение комплекса задач по оптимальному управлению процессом получения, преобразования и передачи энергии от его источника – двигателя – к движителю.

Примером служат такие известные фирмы и корпорации, как «Тойота», «Хонда», «Вольво», «Форд», «Хундай», «Дженерал Моторс» и др. При управлении ГМП на автомобилях этих фирм реализован ряд запатентованных технических решений (US 5124916, US 5267158, US 5323318, US 5389050, US 5822708, US 2001/0053731, US 2002/0016665, US 2001/0020207, US 6358184, US 5806052, EP 0588417, EP 0347263, EP 0781945, EP 0870952, W 09607559) [2]. По данным этих фирм, сегодня нечеткое управление является весьма эффективным и перспективным средством автоматизации АТС.

В то же время информация о про-

дукции этих фирм носит рекламный характер, а вопросы, связанные с алгоритмами функционирования электронных интеллектуальных систем управления, в эпоху конкурентной борьбы за рынки сбыта продукции не раскрываются по принципиальным соображениям. Это значительно осложняет возможность использования опыта зарубежных автомобильных фирм применительно к автоматизации отечественных машин. Поэтому перед нашими учеными ставится важная задача: в кратчайшие сроки провести комплекс самостоятельных исследований этого перспективного научного направления и найти пути использования отмеченных интеллектуальных технологий в управлении и диагностировании мобильных машин.

К этому призывают и стратегические задачи, поставленные Правительством Республики Беларусь перед научными работниками на I съезде ученых РБ.

### Структура комплексной системы управления и диагностирования ГМП

Рассмотрим применение интеллектуальных технологий при автоматизации управления и диагностирования ГМП мобильной машины.

Выбор структуры комплексной системы управления и диагностирования (КСУД) ГМП зависит от поставленных заказчиком задач и требований, особенностей эксплуатации объекта автоматизации (машины с ГМП), традиций производства, экономических, социальных и других факторов.

Вариантов схемного построения КСУД много, причем здесь не существует жестких рамок и шаблонов. Один из вариантов КСУД, основанный на использовании запатентованных автором технических решений [4–11], показан на рис. 1.

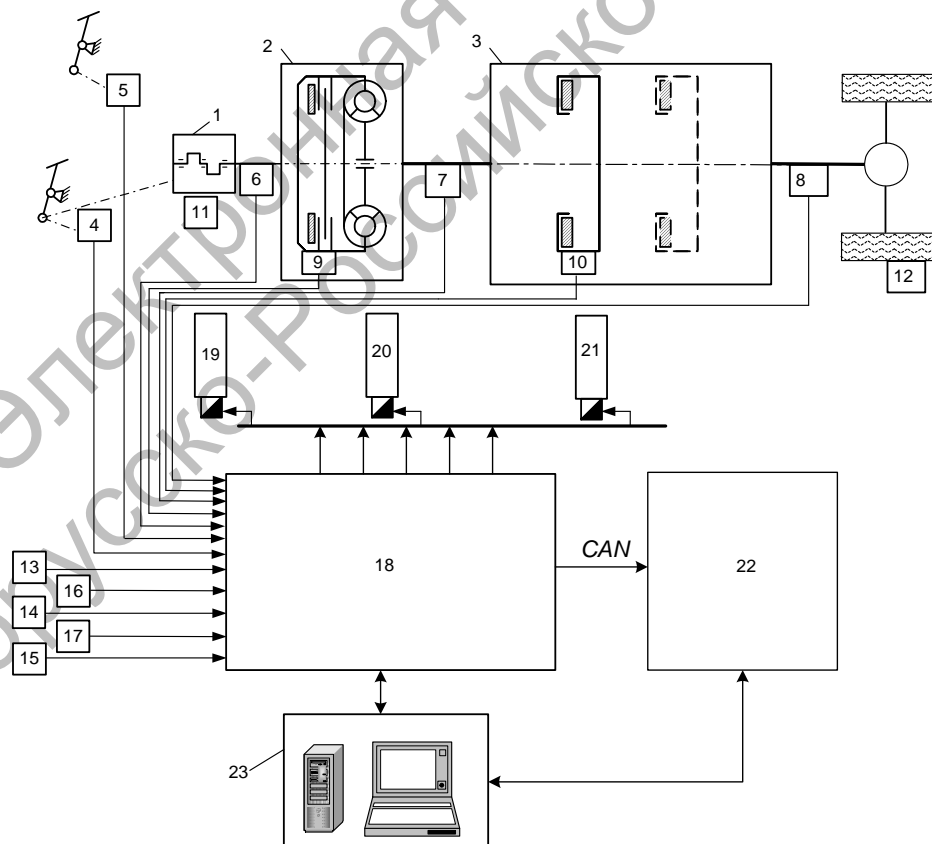


Рис. 1. Схема КСУД ГМП

КСУД ГМП (см. рис. 1) содержит транспортное средство, снабженное двигателем 1, гидротрансформатором 2 и гидромеханической передачей 3, которое эксплуатируется в условиях внешней среды. Для сбора и измерения всевозможной информации о параметрах и характеристиках управляющих воздействий водителя, механизмах и режимах АТС, внешней среды и ситуаций используются различные датчики: положения педалей акселератора 4 и тормоза 5, угловой скорости вала двигателя 6, входного 7 и выходного 8 валов ГМП, датчики состояния муфты блокирования 9 гидротрансформатора 2 и фрикционных муфт 10 ГМП, температуры 11 двигателя и трансмиссии, скорости 12 машины, характеристик дорожных условий 12 и внешней среды 13 (макро- и микропрофиля поверхности дороги, уклона 14, коэффициента сопротивления 15, различных ситуаций 16–17 и т. д.).

Собираемая датчиками информация используется при формировании программы управления энергетическими режимами, причем программа управления включает основную (базовую) программу и элементы адаптации основной программы к нештатным режимам.

Поступающая от датчиков информация обрабатывается в бортовом процессоре (электронном блоке) 18, в котором хранятся основная программа (в виде зависимостей между информационными переменными и базовыми характеристиками управления либо в виде цифровых файлов информации) и элементы ее адаптации. В итоге формируются управляющие сигналы для отработки исполнительными механизмами управления энергетическими режимами машины: двигателем 19 и механизмами ГМП – гидротрансформатором 20 и коробкой передач 21.

Для визуализации различной информации используется интеллектуальная панель оператора 22, которую размещают в кабине водителя. Панель оператора содержит контролируемую текущую информацию о параметрах механизмов ГМП, режимах эксплуатации и информа-

цию о техническом состоянии машины.

Основную программу управления формируют на основе имитационного моделирования посредством ЭВМ 23 транспортного средства в модельных (типовых) условиях его движения [12–14]. Основная программа представляет собой базовые характеристики управления переключением передач и блокированием ГДТ, характеристики управления скоростными режимами двигателя, характеристики управления фрикционными переключения передач. При формировании основной программы используется методология математического моделирования и оптимизации параметров сложных технических систем, регрессионный и корреляционный анализы, новые информационные технологии и другие методы [15–25].

Для формирования характеристик адаптации базовой программы к различным режимам также проводят комплекс научных исследований с использованием ЭВМ и математического моделирования. В связи с переменчивостью условий эксплуатации машины элементы адаптации программы целесообразно оптимизировать. Оптимизацию параметров адаптации проводят на основе экспериментальной факторной модели (регрессионной модели). Регрессионную модель получают путем проведения вычислительного эксперимента на исходной теоретической модели объекта исследования. Эксперимент планируют, а результаты его подвергают регрессионному анализу, посредством которого определяют параметры модели [2, 12, 21–23].

Осуществление процесса диагностирования происходит следующим образом.

Собираемая датчиками информация в виде значений информационных переменных используется в качестве диагностируемых параметров для последующего определения и оценки технического состояния механизмов транспортного средства. При этом эти сигналы разделяют на диагностические, кон-

тролируемые, информационные и управляющие сигналы, которые учитывают характеристики параметров внешней среды и дорожных условий; управляющих воздействий водителя; скоростных режимов движения транспортного средства; особенностей управления транспортным средством, обусловленных стилем вождения и квалификацией водителя; степень загрузки транспортного средства; допустимые режимы работы двигателя, трансмиссии и тормозной системы; пределы безопасных режимов движения транспортного средства в реальных дорожных условиях.

При использовании технологий нечеткой логики осуществляют процедуры фаззификации характеристик и параметров собираемой, передаваемой и обрабатываемой информации из диагностических, контролируемых и управляющих сигналов, составления и формализации продукционных правил, дефаззификации, на основе чего в режиме реального времени формируют сигналы, посредством которых вначале осуществляют результат предварительного технического диагноза, который используется, уточняется и проверяется в экспертной базе знаний, а затем – результат окончательного технического диагноза о состоянии механизмов транспортного средства с его отображением и визуализацией на информационном дисплее водителя или оператора [22].

Для выявления требуемого множества диагностических сигналов и определения их взаимосвязи непосредственно в процессе эксплуатации транспортного средства либо на предварительной стадии осуществляют имитационное моделирование процессов функционирования механизмов транспортного средства, процедуры корреляционного и регрессионного анализа, затем осуществляют формализацию этих сигналов средствами нечеткой логики путем описания их функциями принадлежности и составления продукционных правил с приведением сигналов в нечеткий вид и обратным их преобразованием в четкие выходные сигналы, которые

используют при получении технического диагноза. При этом могут использоваться различные методы технологий искусственного интеллекта [24, 25].

Для отображения диагностической информации в состав КСУД включают панель оператора.

В процессе диагностирования в стационарных условиях панель оператора выполняется в виде так называемого окна интерпретатора, в котором информация экспертной системы о техническом состоянии механизмов ГМП для одного из режимов функционирования выводится в вербальном виде (рис. 2). Окно просмотра экспертной системы содержит графическую информацию о поведении параметров для различных режимов функционирования механизмов (на режимах управления или диагностирования). В специальных строках-окнах выводятся разные сообщения: виды и наименования диагностических и контролируемых параметров, их текущие значения, предупреждения о возникновении нештатных ситуаций либо достижении параметров критических значений. При определенной доработке окна интерпретатора либо элементы интерфейса экспертной системы могут быть достаточно легко изменены в соответствии с пожеланиями пользователя. Экспертная система в составе КСУД для диагностирования ГМП сопровождается программным обеспечением, разработанным на современных языках программирования с привлечением средств визуальной разработки приложений.

### **Вывод**

Автоматизация управления и диагностирования ГМП должна осуществляться на основе методов, реализующих интеллектуальные технологии (технологии искусственного интеллекта), что обеспечит выход на принципиально новый уровень автоматизации мобильных машин.



Рис. 2. Окна интерпретатора и панели оператора КСУД

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ксеневич, И. П.** Теория и проектирование автоматических систем / И. П. Ксеневич, В. П. Тарасик. – М. : Машиностроение, 1996. – 480 с.
2. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : Технопринт, 2004. – 512 с. : ил.
3. **Тарасик, В. П.** Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с.: ил.
4. **Пат. 5522 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Система автоматического управления гидромеханической трансмиссией / С. А. Рынкевич [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 14.02.00 ; опубл. 30.09.03. – 12 с.
5. **Пат. 5082 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Система автоматического управления гидромеханической трансмиссией / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 18.11.99 ; опубл. 30.03.03. – 8 с.

6. **Пат. 7276 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Способ адаптивного управления энергетическими режимами автотранспортного средства / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 22.10.02 ; опубл. 30.06.04. – 5 с.
7. **Пат. 7330 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Способ адаптивного управления энергетическими режимами автотранспортного средства / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 24.07.02 ; опубл. 30.03.04. – 8 с.
8. **Пат. 8007 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Способ интеллектуального управления энергетическими режимами автотранспортного средства и система для его реализации / С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ;

заявл. 04.02.03 ; опубл. 30.04.06. – 16 с.

9. Пат. 9142 РБ, МКИ В 60 К 41/00. Способ интеллектуального управления энергетическими режимами мобильной машины / С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 28.10.04 ; опубл. 30.04.07. – 11 с.

10. Пат. на полезную модель 3421 РБ, МКИ В 65 К 41/00. Система адаптивного интеллектуального управления энергетическими режимами мобильной машины / В. П. Тарасик [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 11.08.06 ; опубл. 30.04.07. – 10 с.

11. Пат. 11076 РБ, МПК В 60 W 10/00. Способ интеллектуального управления и диагностирования транспортного средства / С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 27.07.06 ; опубл. 30.08.08. – 17 с.

12. Исследование на математических моделях и разработка методики синтеза интеллектуальных систем управления энергетическими режимами автотранспортных средств : отчет о НИР (заключ.) / Белорус.-Рос. ун-т ; рук. В. П. Тарасик ; отв. исполн. : С. А. Рынкевич. – Могилев, 2005. – 58 с. – № ГР 20021539.

13. Рынкевич, С. А. Математическое моделирование интеллектуального управления автомобилем с гидромеханической трансмиссией / С. А. Рынкевич // Перспективные технологии, материалы и системы : сб. науч. тр. – Могилев, 2003. – С. 334–339.

14. Рынкевич, С. А. Моделирование адаптивной системы управления автомобилем с гидромеханической трансмиссией / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус. нац. техн. ун-та. – 2005. – № 4. – С. 34–39.

15. Рынкевич, С. А. Создание электронных систем управления и диагностирования для мобильных машин / С. А. Рынкевич // Сб. тр. науч.-метод. конф., посвященной 45-летию Белорус.-Рос. ун-та. – Могилев, 2007. – С. 3–7.

16. Исследование, поставка, монтаж и испытания опытного образца электронной системы управления ГМП для карьерного самосвала БелАЗ-7516 : отчет о НИР (заключ.) / Белорус.-Рос. ун-т ; рук. В. П. Тарасик ; отв. исполн. : Н. Н. Горбатенко [и др.]. – Могилев, 2007. – 41 с. – № ГР 2007224.

17. Тарасик, В. П. Проблемы диагностирования автотранспортных средств и пути их ре-

шения / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 57–66.

18. Рынкевич, С. А. Общетехнические и философские проблемы автоматизации технических объектов / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус. нац. техн. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 86–93.

19. Рынкевич, С. А. Метод диагностирования механизмов АТС на основе нечеткой логики / С. А. Рынкевич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – Ч. 2. – С. 61–62.

20. Рынкевич, С. А. Интеллектуальные системы при автоматизации в технике: философские проблемы / С. А. Рынкевич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – Ч. 3. – С. 163–164.

21. Тарасик, В. П. Методология интеллектуального управления / диагностирования / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – Ч. 2. – С. 63.

22. Рынкевич, С. А. Синтез адаптивных систем управления автотранспортных средств с применением нечеткой логики / С. А. Рынкевич // Перспективные технологии, материалы и системы : сб. науч. тр. – Могилев, 2005. – С. 321–327.

23. Рынкевич, С. А. Адаптация характеристик управления энергетическими режимами автомобиля на основе нечеткой логики и обучающихся нейронечетких сетей / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 2. – С. 17–22.

24. Рынкевич, С. А. Метод диагностирования гидроприводов, основанный на нечеткой логике / С. А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. – 2007. – № 6. – С. 32–35.

25. Рынкевич, С. А. Метод нейронечеткой идентификации неисправностей гидромеханических передач автомобилей / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 3. – С. 15–22.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 24.06.2008

**S. A. Rynkevich**  
**Automation of control and diagnosing**  
**of hydromechanical transmissions**

The problem of automation of control and diagnosing of hydromechanical transmissions of mobile machines and ways of its solution are considered in the article. Perspectiveness of intellectual and information technologies in control and diagnosing automation of means of transport mechanisms has been noted in the paper. The structure of a complex control and diagnosing system of hydromechanical transmission of the automobile is given in the article.