

УДК 004.8:629.3

С. А. Рынкевич, канд. техн. наук, доц.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТИВНОГО НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ

Рассмотрены вопросы анализа эффективности адаптивного управления автотранспортным средством на основе технологий нечеткой логики. Предложен критерий для оценки эффективности нечеткого управления и рассмотрен метод его использования. Рассмотрена возможность использования метода оценки эффективности нечеткого управления при создании интеллектуальных систем управления автомобилями.

Адаптивное интеллектуальное управление энергетическими режимами автотранспортного средства (АТС) достаточно перспективно с точки зрения наиболее полной реализации потенциальных возможностей машины, улучшения ее технико-экономических показателей, обеспечения безопасности и комфортных условий труда водителя [1]. Все это в конечном итоге определяет конкурентоспособность отечественной автотранспортной техники и совершенствование ее потребительских качеств в современных рыночных условиях.

Одна из интеллектуальных технологий, которая относится к приоритетным направлениям в автоматизации и довольно широко используется на зарубежных автомобилях, – это нечеткая логика управления [2]. Многие грузовые и легковые автомобили различных марок используют нечеткое управление трансмиссией, двигателем, тормозной системой и другими механизмами. Примером служат такие фирмы и корпорации, как «Тойота», «Хонда», «Вольво», «Форд», «Хундай», «Дженерал Моторс» и др. При управлении гидромеханической передачей (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, нечеткое управление является весьма эффективным средством автоматизации АТС. В то же время информация о продукции этих фирм носит рекламный характер, а вопросы, связанные с алгоритмами функционирования электронных интеллектуальных систем управления, не раскрываются. Это значительно осложняет возможность использования опыта зарубежных автомобильных фирм применительно к автоматизации отечественных машин. В этой связи перед нашими учеными возникает 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 настоящему времени в процессе многолетних (с 1999 по 2007 гг.) 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 [3]. Значительная часть работ проводилась по заданию ГНТП «Белавтотракторостроение». Многие работы выполнялись по госбюджетной тематике и хоздоговорам с ведущими отечественными предприятиями автомобиль-

ной промышленности.

Данная статья посвящена результатам исследований в области повышения эффективности адаптивного управления на основе интеллектуальных технологий.

1. Оценка эксплуатационной эффективности АТС. Для оценки эксплуатационной эффективности автомобилей при движении по маршруту использованы следующие критерии: средняя скорость движения на маршруте $v_{ср}$, м/с; средний путевой расход топлива на маршруте $Q_{ср}$,

л / 100 км; удельная производительность $W_{уд}$, (кг·м/с) / (л / 100 км).

В процессе исследований было произведено по несколько заездов по маршруту с управлением по базовым неадаптивным характеристикам и с управлением, наделенным интеллектуальными свойствами. Эффективность интеллектуального управления в этом случае оценивается очень просто: путем сравнения полученных результатов (табл. 1).

Табл. 1. Оценка эффективности интеллектуального управления автомобилями при движении по маршрутам

Режим движения	П а р а м е т р ы					
	Средняя скорость $v_{ср}$, м/с		Средний путевой расход топлива $Q_{ср}$, л / 100 км		Удельная производительность $W_{уд}$, (кг·м / с)/(л / 100 км)	
	Большегрузный автомобиль	Городской автобус	Большегрузный автомобиль	Городской автобус	Большегрузный автомобиль	Городской автобус
С интеллектуальным управлением	6,87	–	377,2	36,4...36,9	1001,7	920,2...924,9
Без интеллектуального управления	6,51	–	399,8	39,91	895,57	844,16
Характеристика увеличения (уменьшения) параметра	1,055	–	1,06	1,08...1,09	1,12	1,09...1,10

Анализ результатов показывает, что при интеллектуальном адаптивном управлении большегрузным автомобилем и городским автобусом на маршруте по сравнению с неинтеллектуальным управлением по базовым характеристикам, определенным и приведенным в [1], наблюдается улучшение основных эксплуатационных параметров. Так, средний путевой расход топлива у автобуса снижается на 8–9 % и у автосамосвала на 6 %, удельная производительность автобуса возрастает на 9–10 %, автосамосвала – на 12 %. Средняя скорость большегрузного автомобиля возрастает на 5,5 %. Это обусловлено, главным образом, за счет своевременного текущего смещения программных значений на переключение передач в зависимости от фаз движения (разгона, замедления), характеристик внешней среды (уклона) и управляющих

воздействий водителя на органы управления [1].

В сложных дорожных условиях (горная местность, извилистая дорога, внезапное возникновение помех) водитель вынужден резко изменять управляющие воздействия (сброс педали акселератора, экстренное торможение). Неадаптивные системы в таких условиях формируют неадекватные сигналы управления, что может привести к недопустимым режимам работы двигателя и механизмов трансмиссии, возникновению аварийных ситуаций. При этом снижаются надежность конструкции и безопасность движения автомобиля. Поэтому алгоритм интеллектуальной системы управления (ИСУ) должен распознавать такие условия и обеспечивать парирование ложных сигналов управления переключением пе-

редач. В частности, для карьерных автосамосвалов при движении на крутых спусках не допускается переключение на высшие передачи, выключение передачи, ограничивается максимальная угловая скорость двигателя.

2. Оценка эффективности нечеткого управления. Для оценки эффективности интеллектуального управления посредством технологий нечеткой логики автором был разработан и использован критерий, называемый коэффициентом эффективности нечеткого управления $k_{\text{эну}}$:

$$k_{\text{эну}} = \frac{\int_{t_0}^{t_1} u(t) \cdot dt}{\int_{t_0}^{t_1} u_{\text{а max}}(t) \cdot dt}, \quad (1)$$

где $u(t)$ – реализуемое текущее значение адаптивного управляющего сигнала; $u_{\text{а max}}(t)$ – максимально возможное значение адаптивного управляющего сигнала; t_0 – момент времени начала процесса адаптации; t_1 – момент времени окончания процесса адаптации.

Значение $u_{\text{а max}}(t)$ является характеристикой идеального коэффициента адаптации при нечеткой логике управления, который возможно реализовать для данных условий функционирования ИСУ.

Чем ближе к единице значение $k_{\text{эну}}$, тем эффективнее осуществляется адаптация базовых характеристик к реальным условиям движения АТС.

Для апробации разработанного критерия и оценок эффективности было произведено математическое моделирование интеллектуального управления энергетическими режимами автомобиля-самосвала БелАЗ, оснащенного ГМП, при его движении по карьерному маршруту [4–6]. Аналогичные работы проводились для городских автобусов марок ЛиАЗ и МАЗ.

Критерий $k_{\text{эну}}$ определялся для различных режимов управления ГМП, требующих адаптации базовой программы: для процессов переключения на высшие

и низшие передачи, блокирования и разблокирования гидродинамического трансформатора (ГДТ) в сложных условиях. При этом осуществлялись изменения значений характеристик управляющих воздействий водителя: темпа и скорости нажатия на педали акселератора и тормоза, а также величин продольного уклона и массы перевозимого груза, т. е. тех характеристик и переменных нечеткой логики, которые описаны функциями принадлежности и непосредственно задействованы в производственных правилах.

На рис. 1 в качестве примера показаны результаты моделирования процесса адаптивного интеллектуального управления ГМП автосамосвала БелАЗ–7555.

Характеристики $z_{3 \rightarrow 4}$ и $z_{4 \rightarrow 3}$ на графиках (см. рис. 1) показывают изменение значений адаптивного управляющего сигнала контроллера при переключении передач 3→4 и 4→3 (для удобства анализа они приведены к частоте вращения выходного вала коробки передач). Видно, что в процессе переключений передач значения адаптивного управляющего сигнала на соответствующее переключение смещается, чем обеспечивается защита от необоснованных переключений (цикличности) на время переходных процессов. Кроме того, в процессе притормаживания автомобиля (что характерно для движения на спуске), а также в режиме торможения двигателем смещение управляющего сигнала предписывает запрет на переключение на высшую передачу.

Результаты оценки эффективности адаптивного нечеткого управления приведены в табл. 2.

По данным различных работ, проведенных в этой области исследований, в том числе за рубежом, получен ряд осциллограмм процессов движения автосамосвала с опытной адаптивной системой управления по карьерным маршрутам, в том числе и с нечеткой логикой управления.

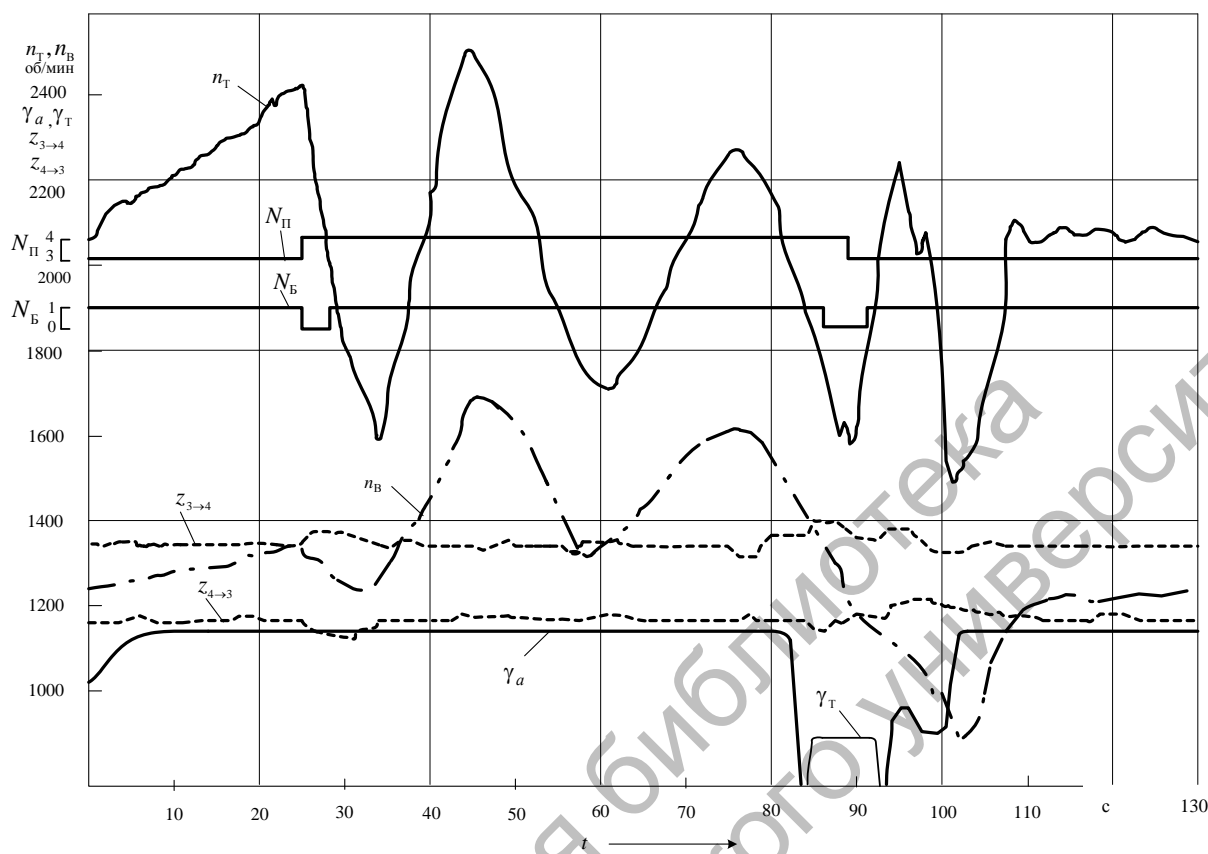


Рис. 1. Процессы адаптивного интеллектуального управления ГМП автосамосвала: n_T, n_B – изменение частоты вращения турбинного вала ГДТ и выходного вала коробки передач; γ_a, γ_T – положения педалей акселератора и тормоза; $N_{П}, N_{Б}$ – номер ступени в коробке передач и признак блокирования ГДТ; $z_{3 \rightarrow 4}, z_{4 \rightarrow 3}$ – изменение значений адаптивного управляющего сигнала при переключении передач 3→4 и 4→3

Табл. 2. Оценка эффективности нечеткого управления

Режим движения АТС	Средний коэффициент эффективности нечеткого управления $k_{\text{нч}}$	
	С грузом	Без груза
Движение на подъеме	0,81	0,85
Движение на спуске	0,83	0,87
Движение на маршруте по сложному профилю	0,74	0,79

Анализ результатов показывает высокую степень сходимости теоретических и экспериментальных характеристик, подтверждая правильность заложенных теоретических и реализуемых практически научных принципов.

Установлено, что оснащение машины бортовым процессором позволяет реализовывать нечеткую логику управления на аппаратном уровне. Так, бортовая микроэлектроника зарубежного производства способна эффективно

реализовывать алгоритмы, полученные в [3]. Все дело в том, какие контроллеры и каких производителей будут использоваться, и как их запрограммировать. Но это уже вопросы электронщиков.

По результатам комплексных исследований сделан ряд научных выводов, которые опубликованы в отчетах хозяйственных и госбюджетных НИР [3, 7–8].

Исследования могут быть положены в основу создания ИСУ различными автомобилями и разработки для них эффективных алгоритмов. Часть таких работ уже успешно выполняется, и к настоящему времени созданы и испытаны опытные образцы электронных автомобильных систем [7, 8].

Применение интеллектуального управления энергетическими режимами автомобиля, как показали многочисленные исследования, позволило выявить следующие эффекты:

- осуществлялось автоматическое смещение оптимальных характеристик управления переключениями передач при разгонах и замедлениях автомобиля. В результате средняя скорость увеличилась на 5–7 %, а путевой расход топлива снизился на 6–8 % по сравнению с управлением по оптимальным характеристикам без учета величины ускорения машины;

- осуществлялись запреты на переключение на высшие передачи в опасных ситуациях (на крутых спусках, при высоких скоростях движения, при нажатии на педаль тормоза);

- обеспечено снижение продольных ускорений автомобиля даже без применения процессов управления двигателем при переключениях передач;

- повысилась эффективность торможения путем применения торможения двигателем и более раннего переключения на низшие передачи;

- повысилась общая безопасность управления автомобилем.

Установлено, что:

- применение современных средств и методов обработки и анализа информа-

ции, технологий искусственного интеллекта позволяет одновременно учитывать множество информационных переменных и осуществлять адаптацию базовых алгоритмов управления энергетическими режимами АТС;

- изменение значений функций принадлежности предпосылок (значений информационных переменных) приводит к изменению значений функций принадлежности заключений, т. е. изменению корректирующих величин к базовому алгоритму. Это значит, что управление переключениями на высшие и низшие передачи в адаптивном алгоритме будет происходить уже несколько раньше или позже базовых программных значений;

- использование нечеткой логики управления позволяет формировать адаптивный управляющий сигнал на переключение на высшие и низшие передачи, который является корректирующим для базового алгоритма управления ГМП;

- применение интеллектуальных технологий при управлении АТС обеспечивает повышение средней скорости движения на маршруте, возрастание производительности, снижение расхода топлива и повышение экономичности, улучшает качество переходных процессов в трансмиссии, повышает безопасность, способствует улучшению условий труда водителя и повышению комфорта водителя и пассажиров, обеспечивается получение оперативной информации о техническом состоянии механизмов и систем объектов управления;

- применение современных средств обработки и анализа информации позволяет обеспечить оперативный контроль за выполнением технологических процессов и накапливать информацию, необходимую для планирования процессов технического обслуживания и ремонта техники;

- использование нечеткой логики, помимо управления, целесообразно

при осуществлении контроля и диагностирования механизмов АТС, а также мониторинга и диспетчеризации парка машин.

Выводы

Оценка эффективности автоматического управления АТС с ГМП в процессе его движения по типовым маршрутам позволила выявить следующее. Применение нечеткой логики управления обеспечивает адаптацию алгоритмов функционирования системы управления к условиям внешней среды с учетом реальных ограничений. При интеллектуальном адаптивном управлении большегрузным автомобилем и городским автобусом на маршруте по сравнению с неинтеллектуальным управлением по базовым характеристикам можно достичь улучшения основных эксплуатационных параметров. Установлено, что средний путевой расход топлива у автобуса снижается на 8–9 % и у автосамосвала на 6 %, удельная производительность автобуса возрастает на 9–10 %, автосамосвала – на 12 %. Средняя скорость большегрузного автомобиля возрастает на 5,5 %. Это обусловлено своевременным текущим смещением программных значений на переключение передач в зависимости от изменения фаз движения (разгона, замедления), значений ускорения автомобиля, характеристик внешней среды и управляющих воздействий водителя.

S. A. Rynkevich
Efficiency analysis of adaptive fuzzy automobile control
Belarusian-Russian University

Questions of efficiency analysis of adaptive fuzzy automobile control based on fuzzy logic technologies have been considered. Criterion for efficiency of fuzzy control estimation has been given and method using it has been considered. Opportunity of using the method of efficiency of fuzzy control estimation while creating intellectual automobile control systems has been considered.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : Технопринт, 2004. – 512 с. : ил.
2. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления ГМП / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 38–40.
3. 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.
4. **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.
5. **Рынкевич, С. А.** Моделирование адаптивной системы управления автомобилем с гидромеханической трансмиссией / С. А. Рынкевич // Вестн. БНТУ. – 2005. – № 4. – С. 34–39.
6. **Рынкевич, С. А.** Моделирование автомобиля с гидромеханической передачей / С. А. Рынкевич, С. В. Кузнецов // Вестн. МГТУ. – 2005. – № 2 (9). – С. 146–151.
7. **Рынкевич, С. А.** Создание электронных систем управления и диагностирования для мобильных машин / С. А. Рынкевич // Науч.-метод. конф., посвященная 45-летию Белорус.-Рос. ун-та : сб. тр. – Могилев, 2007. – С. 3–7.
8. Изготовление, 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 ; исполн. : Н. Н. Горбатенко [и др.]. – Могилев, 2007. – 41 с. – № ХД-04201.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 15.11.2007