

ной методики, межадаптерные транспортирующие устройства отличались сложностью, большим весом, некорректностью в структурном отношении и приводили к случаям повреждения технологического продукта. Разработка общей теории синтеза межадаптерных транспортирующих устройств как научной основы их создания и оптимизации является частью

теории научных основ агрегатирования универсального энергетического средства с адаптерами в различных компоновках.

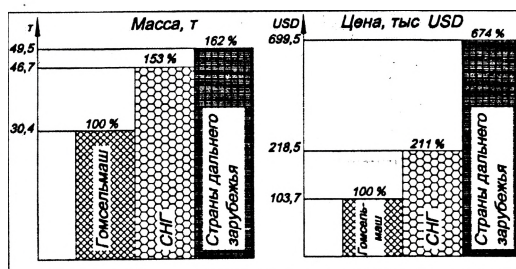
В ГСКБ ПО «Гомсельмаш» с 1987 по 1997 гг. были разработаны 18 агрегатов на базе универсального энергетического средства «Полесье-250», из которых четыре серийно выпускаются в ПО «Гомсельмаш»:

- кормоуборочный с полунавесным кормоуборочным комбайном КПК-3000;
- сеноуборочный с фронтальной роторной косилкой-плющилкой КПП-6;
- свеклоуборочный с шестирядным полунавесным свеклоуборочным комбайном КСН-6;
- зерноуборочный КЗР-10 «Полесье-Ротор».

Эффективность от использования уборочных агрегатов на базе универсального энергетического средства представлена в таблице

Наименование комплекса машин	Комплексы машин								
	Стран СНГ			Стран дальнего зарубежья			На базе УЭС-2-250А		
	Масса, т	Цена, тыс. USD	Затраты на уборку USD/т, или USD/га	Масса, т	Цена, тыс. USD	Затраты на уборку USD/т, или USD/га	Масса, т	Цена, тыс. USD	Затраты на уборку USD/т, или USD/га
Зерноуборочный	Дон-1500Б			Мега-218			КЗР-10 **		
	13,3	55,0	36,8	14,6	163,1	84,1	17,4	69,9	28,5
Кормоуборочный	Дон-680			Ягуар-840			КПК-3000		
	13,5	53,1	1,8	14,3	180,8	5,6	5,2	13,3	0,9
Свеклоуборочный	КС-6Б+ОГД-2+БМ-6Б			Холмер			КСН-6+ППК-6		
	13,3	76,2	-	15,4	300,0	-	5,2	14,9	-
Сеноуборочный	Дон-800			Е-303			КПР-6		
	6,6	34,2	-	5,2	55,6	-	2,6	5,6	-
Итого	46,7	218,5	38,6	49,5	699,5	89,7	30,4	103,7	29,4
	(153%)	(211%)	124,7	(162%)	(674%)	233,0	(100%)	(100%)	44,7

Примечания: \*) Цены по состоянию на февраль 2000 г.  
\*\*) Включая УЭС-2-250А.



Серийно выпускаемые ПО «Гомсельмаш» уборочные комплексы на базе УЭС-2-250А в сравнении с аналогичными по назначению и производительности зарубежными самоходными машинами имеют меньшие суммарную конструктивную массу, стоимость и удельные затраты на уборку соответственно в 1,5...1,6; 2,1...6,7 и 1,3...5,2 раза.

## СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ – КЛАСС АВТОМОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Одной из важнейших проблем мирового автомобилестроения было и остается повышение безопасности автотранспортных средств. Решение этой комплексной задачи во многом возложено на сравнительно недавно сформировавшийся класс систем активной безопасности (САБ), которые имеют черты мехатронных и интеллектуальных объектов, т.е. систем, которые имеют как минимум одну ключевую, механически выполняемую функцию и поддерживаются в своей работе одним или более электронными устройствами, а также способных распознать текущую ситуацию, произвести оценку и спрогнозировать протекание процессов в цепи «водитель — автомобиль — дорога» для выбора оптимальной последовательности и динамики управляющих воздействий.

Выделение САБ в отдельный класс устройств во многом объясняется тем, что это одна из первых автомобильных систем, которая бази-

В.Г. БУТЫЛИН

руется на синергетических принципах, начиная от философии регулирования [1] и до конструктивного исполнения.

Тормозная система современного автомобиля, наряду с решением традиционных задач (уменьшение скорости, вплоть до его полной остановки, либо удержание автомобиля на месте), используется системами активной безопасности для обеспечения устойчивости и управляемости путем регулирования параметров сцепления колеса с дорогой, активно взаимодействуя при этом с другими компонентами автомобиля как в тормозном, так и в тяговом режиме.

Таким образом, роль тормозного привода автомобиля качественно меняется — он может выступать и самостоятельной системой управления, и «подсистемой», объектом управления системы более высокого порядка, рис. 1.

Рассмотрим вариант САБ тормозного и тягового режимов (рис. 1в) на примере функционирования антиблокировочно-противобуксовочной системы (АБС/ПБС), предназначенной для обеспечения нормативных требований по эффективности торможения, устойчивости и управляемости, а также для улучшения динамики разгона на дорогах с низким и переменным коэффициентом сцепления.

Основными элементами АБС/ПБС (рис. 2) являются: датчики угловой скорости колеса, модуляторы тормозного давления, элементы управления режимами работы двигателя и процессорный модуль управления (ПМУ).

В рабочем режиме ПМУ постоянно анализирует поступающую с колесных датчиков информацию, производит необходимые расчеты и выдает команды на исполнительные элементы. В режиме диагностики и в рабочем режиме ПМУ производит

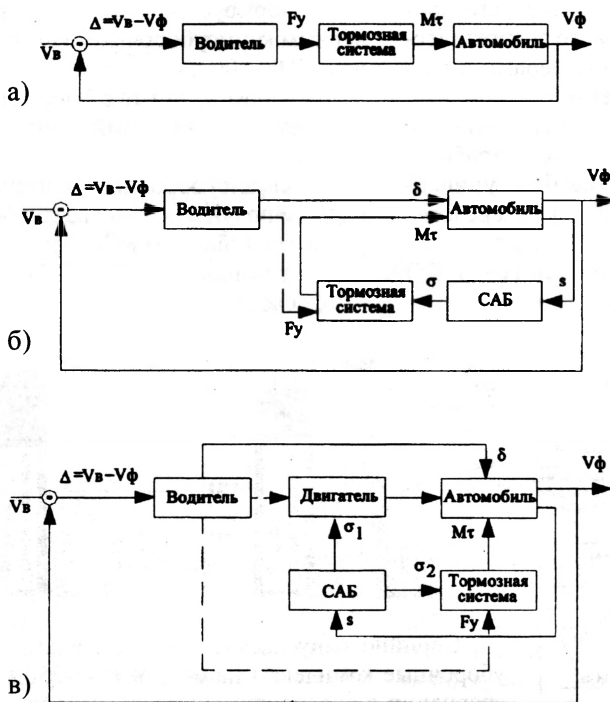


Рис. 1. Варианты использования тормозной системы: а) стандартная; б) в составе САБ тормозного режима; в) в составе САБ тормозного и тягового режимов.

$Vв$  - скорость автомобиля, задаваемая водителем;  $Vф$  - фактическая скорость автомобиля;  $\Delta$  - отклонение скорости;  $Fy$  - усилие управления тормозным приводом;  $Mт$  - тормозной момент;  $\delta$  - воздействие на рулевое управление;  $s$  - параметр регулирования САБ (например, скольжение колеса);  $\sigma$  - управляющий сигнал.

периодическое тестирование всех элементов системы, выдает информацию об отказах и, при необходимости, отключает неисправные элементы или контура, не нарушая при этом работоспособность тормозной системы и приоритет водителя на управление процессом торможения. Таким образом, ПМУ проявляет отдельные черты интеллекта, причем, некоторые из них организованы уже на уровне элементной базы.

При осуществлении водителем экстренного торможения система АБС/ПБС переходит в режим антиблокировочного регулирования в случае обнаружения превышения граничного замедления (и/или проскальзывания) колеса автомобиля, что происходит при неблагоприятной дорожно-эксплуатационной ситуации. После этого момента регулирование основных параметров процесса торможения (скорости и скольжения колес) производится только системой, что позволяет достичь высокой управляемости и эффективности торможения. При этом водитель может корректировать траекторию автомобиля и прекращать процесс торможения. В случае трогания с места и разгона на скользкой дороге си-

стемный дифференциал вращающего момента и/или регулированием оборотов (мощности) двигателя, ограничивая скольжение ведущих колес.

Рассмотренная система АБС/ПБС является примером базовой САБ, имеющей черты мехатронной системы.

Очевидно, что современная САБ, способная прогнозировать развитие протекающих процессов в цепи «автомобиль - колесо - дорога» в условиях реальных нагрузок, должна разрабатываться с использованием мощной процессорной части и развитого программного обеспечения. При этом САБ должна обладать свойствами ин-

теллектуальной, самообучающейся и самоконфигурирующейся системы с параллельными независимыми информационными каналами и доэкстремальным [2], превентивным управлением объектом регулирования с использованием действующего привода.

Интеллектуальное направление развития САБ соединяет в себе тенденции как к «замещению» водителя в экстремальных дорожно-эксплуатационных ситуациях, так и наиболее полному учету его действий по управлению автомобилем. При этом выигрыш в эффективности управления должен быть обеспечен не столько за счет мощной компьютерной части, сколько за счет гибкого и самонастраивающегося алгоритма, а также сенсорной и актуаторной частей, которые были бы сами способны адаптироваться к дорожной ситуации, степени работоспособности системы и действиям водителя.

Получение и обработка информации о параметрах дороги и автомобиля должны быть основаны, несомненно, на применении новых направлений в сенсорике. Однако новые принципы измерений часто используются для получения информации о второстепенных параметрах, в то время как главные параметры регулирования САБ - скорость и замедление до сих пор определяются косвенно по сигналам морально устаревших индуктивных датчиков или, в лучшем случае, датчиков Холла. Указанные типы датчиков очень чувствительны к внешним нагрузкам, а также качеству изготовления и монтажа как их самих, так и элементов транспортного средства, и имеют большую погрешность во всех диапазонах и условиях работы.

Кроме этого, некоторые показатели динамики автомобиля рассчитываются, хотя есть возможность их непосредственного измерения. В первую очередь это относится к из-

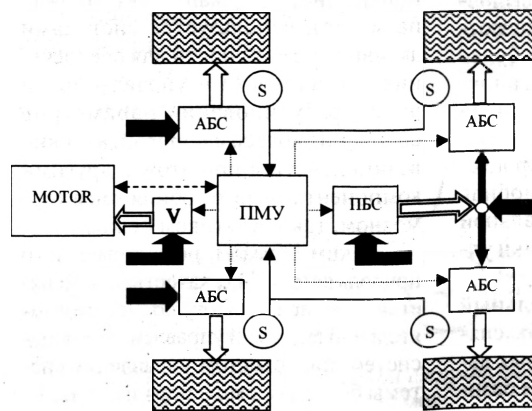


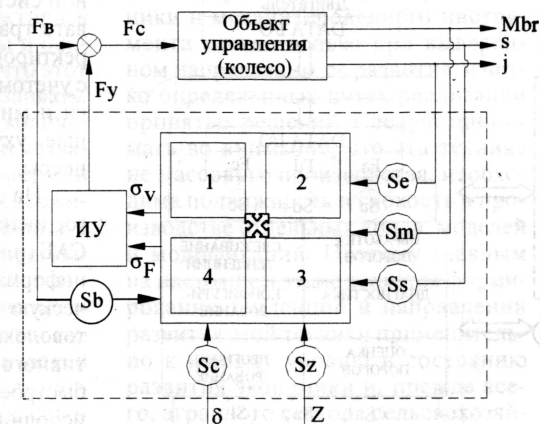
Рис. 2. Структурная схема АБС/ПБС.

$S$  - датчик угловой скорости колеса; АБС - модулятор тормозного давления (режимы АБС и ПБС); ПБС - дифференциальный клапан (режим ПБС);  $V$  - элементы управления режимами работы двигателя (режимы ПБС и ограничения максимальной скорости); ПМУ - процессорный модуль управления.



Рис. 3. САБ с параллельной структурой информационных каналов.

$M_{br}$  - тормозной момент;  $s$  - проскальзывание колеса;  $j$  - замедление поворота автомобиля;  $\delta$  - угол поворота рулевого колеса;  $Z$  - момент инерции автомобиля относительно вертикальной оси;  $F_v$  - усилие управления, задаваемое водителем;  $F_y$  - корректирующее усилие;  $F_c$  - усилие управления объектом регулирования;  $\sigma_v$  - сигнал по темпу изменения управляющего усилия;  $\sigma_f$  - сигнал по величине изменения управляющего усилия;  $S_i$  - датчики; ИУ - исполнительное устройство (устройства); блок управления: 1 - прогнозирование начала потенциальной кривой; 2 - прогнозирование качественного вида потенциальной кривой; 3 - определение текущих значений потенциальной и реальной кривой и темпов их изменения; 4 - определение реакции исполнительного устройства (устройств).



мерению реальной скорости автомобиля, а также сил и моментов на колесе. Современное развитие технологий массового производства интегральных электронных, СВЧ и оптических элементов для устройств формирования и обработки сигналов, гироскопических и других моментных датчиков, позволяет прогнозировать их широкое и эффективное применение в САБ новых поколений.

В современных САБ обычно реализуется последовательная схема обмена информацией, при которой на каждый канал регулирования приходится свой информационный канал, например, с колесного датчика угловой скорости. Однако, с расширением состава и улучшением качества сенсорной базы возможен переход на параллельную структуру обработки и расширения информационных каналов (рис. 3). В зависимости от оценки текущей регулировочной ситуации системой расставляются приоритеты информационных каналов, то есть выбирается один основной параметр регулирования, а остальные выполняют контрольную и корректировочную функции. Применение параллельной структуры сенсорной части САБ дает определенные преимущества. Во-первых, используется информация о различных параметрах взаимодействия автомобиля, колеса и дороги, что дает адекватное отображение регулировочной ситуации. Во-вторых, система активной безопасности приобретает гибкость в информационном плане, так как возможно комбинационное

использование независимых информационных каналов.

Одной из инертнорешаемых до настоящего времени проблем является повышение быстродействия исполнительных механизмов с традиционными рабочими телами - жидкостью и сжатым воздухом - часто оказывается недостаточным для качественного регулирования. Особенно это заметно у автомобилей с пневматическими тормозами, так как частота работы, плавность регулирования электропневматической АБС в несколько раз меньше простой гидравлической АБС. Здесь перспективой следует связывать с электроприводом. Для большегрузных автомобилей и автобусов с пневматическими тормозами в качестве переходного варианта можно предложить гидравлические тормоза с усилителями,

использующими кинетическую энергию движущегося транспортного средства [3].

Как было упомянуто выше, правильное функционирование САБ во всех режимах работы возможно только при обеспечении ее аналитико-расчетной части полной и достаточно достоверной информацией. При этом исполнительные устройства САБ должны иметь необходимое быстродействие и дозированность воздействия для плавного и эффективного адаптивного регулирования.

Как одно из перспективных решений в данном направлении возникла концепция мехатронных систем сетевого торможения или «Brake by Wire», базирующихся на электромеханических компонентах. Однако их распространение пока ограничено, так как электрический тормозной привод обладает сложной нелинейной характеристикой, меняющейся в процессе работы под воздействием многих факторов, в результате чего определение величины управляющего тормозного усилия нельзя проконтролировать с помощью датчиков, а можно получить только расчетным путем. Также для электромеханических тормозов очень важен вопрос надежности, поскольку они не предусматривают аккумулялирование запаса энергии для аварийных ситуаций.

Альтернативный путь открывается с созданием комбинированной электропневматической и электрогидравлической тормозной системы, рис. 4. В ней функции электропривода используются для создания кратковременных усилий, направленных как на создание тормозного усилия на исполнительном механизме, так и для противодействия при-

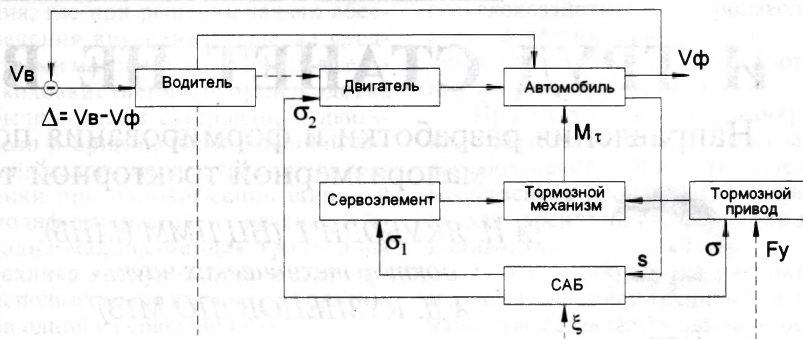


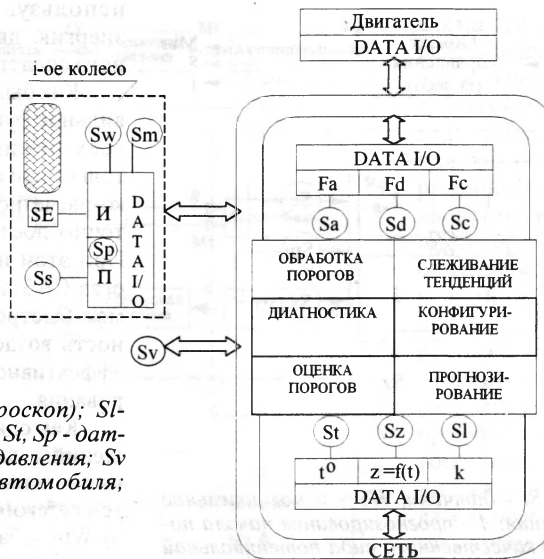
Рис. 4. Комбинированная САБ превентивного управления.

$V_v$  - скорость автомобиля, задаваемая водителем;  $V_f$  - фактическая скорость автомобиля;  $\Delta$  - отклонение скорости;  $F_y$  - усилие управления тормозным приводом;  $M_t$  - тормозной момент;  $\delta$  - воздействие на рулевое управление;  $s$  - параметр регулирования САБ (например, скольжение колеса);  $\sigma$  -  $\sigma_2$  - управляющие сигналы;  $\xi$  - сигнал подпедального сенсора.



**Рис. 5.** Интеллектуальная САБ (концепт-система).

*Sa, Sd* - подпедальные датчики; *Sc* - датчик рулевого управления; *Sw, Sm, Ss* - колесные датчики угловой скорости, тормозного момента и подвески; *Sz* - акселерометр (гироскоп); *St* - датчик уровня (крена); *Sp* - датчики температуры и давления; *Sv* - датчик скорости автомобиля; *SE* - сервоэлемент.



ложенному со стороны исполнительной части тормозной системы усилию, а время воздействия будет определяться быстродействием традиционной части системы.

По информации с колесного датчика оценивается реакция колеса, по которой можно определить параметры дороги по сцеплению и начать регулирование уже во время первой фазы нарастания давления в тормозной камере (цилиндре), что позволит обеспечить эффективное торможение, преодоление гистерезиса исполнительного механизма и снизить расход рабочего тела.

Таким образом, отличительными признаками комбинированного тормозного привода как мехатронной системы являются адаптивность и превентивность управления. Коррекция управляющего тормозного воздействия до выхода САБ на рабочий режим дает возможность для применения квазинепрерывных ал-

горитмов в философии регулирования. Упреждающее (превентивное) управление исполнительными аппаратами, в свою очередь, минимизирует все накопленные в регулировочной цепи задержки.

Применение алгоритмов доэкстремального регулирования, развитой структуры сенсорной и исполнительной части позволяет создать мехатронную САБ с признаками интеллектуальной системы.

Работа такой системы активной безопасности будет гармонично реагировать как на действия водителя, так и на текущую дорожную ситуацию. Реализация подобной САБ связана с задачами определения информационного пространства для согласованной работы тормозного привода и интеллектуальной системы активной безопасности мобильной машины, а также обеспечения адаптивной структуры исполнительной части.

Применение комплексной сенсор-

ной системы позволит прогнозировать траекторию автомобиля, корректировать команды регулирования с учетом рельефа и состояния дороги и минимизировать нежелательные, ухудшающие динамику, процессы.

На основании вышеизложенного, интеллектуальная мехатронная САБ (рис. 5) должна: иметь мощную информационно-расчетную аналитическую часть в сетевом (CAN или оптоволокно) исполнении для эффективного управления; обеспечивать быстрое и дозированное воздействие исполнительных устройств; определять приоритет команд и статус устройств в сети для конкретной регулировочной ситуации, а также перераспределять ресурсы при выходе из строя или перегрузке каналов информационного обмена и управляющих элементов цепи «информация - обработка - управление» в зависимости от накопленного опыта работы с конкретным объектом.

#### Литература

1. Ivanov V.G., Boutylin V.G., Liashchinski A.J. *Structural Synthesizing of Intellectual Systems of Automobile Active Safety // Proceedings of the 2000 Automotive Dynamics and Stability Conference*, P-354, 9 p.
2. Лецинский А.И., Бутылин В.Г., Иванов В.Г. *Доэкстремальный способ автоматического управления торможением транспортного средства // Вести Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук 2000. - №1, стр. 45-49.*
3. Бутылин В.Г., Иванов В.Г., Лепешко И.И., Лецинский А.И., Южнов А.А. *Анализ развития систем управления торможением колеса. // Мехатроника. - 2000 - №2, стр. 33-38.*

## И ТРУД СТАНЕТ НЕ В ТЯГОСТЬ...

Направления разработки и формирования потребительских свойств малоразмерной тракторной техники



А.И. Якубович

А.И. ЯКУБОВИЧ (НЦ ПММ НАНБ),  
доктор технических наук,  
А.Д. КУЗНЕЦОВ (ПО МТЗ)

Преобразование в агропромышленном секторе экономики, развитие новых форм землепользования на основе частной собственности на землю, создание арендных и фермерских хозяйств увеличивают потребности в малоразмерной тракторной технике. Ранее это-

му виду техники не уделялось достаточно внимание и, как следствие, этот раздел техники не получил широкого развития в странах СНГ. Нельзя сказать, что за последние 10 лет в этом направлении достигнуты значительные успехи. Причиной этого, в определенной мере, являются медленные преобразования в агропромышленном секторе, которые не способствуют активизации в формировании частного сектора в сельскохозяйственном производстве.