

УДК 629.3

*В. П. Тарасик, Н. Н. Горбатенко, Р. В. Плякин, В. С. Савицкий*

## МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

UDC 629.3

*V. P. Tarasik, N. N. Gorbatenko, R. V. Pliakin, V. S. Savitsky*

## MECHATRONIC SYSTEM FOR AUTOMATIC CONTROL OF MOBILE MACHINES HYDROMECHANICAL TRANSMISSION

### Аннотация

Приведено описание созданной мехатронной системы автоматического управления гидромеханической передачей карьерных самосвалов БелАЗ. Изложены назначение, функциональные свойства и конструктивные особенности ее компонентов. Приведена принципиальная схема разработанной экспериментальной установки для исследования процессов функционирования системы.

### Ключевые слова:

гидромеханическая передача, мехатронная система автоматического управления, микропроцессорный контроллер, селектор режимов управления, карьерный самосвал.

### Abstract

The mechatronic system developed for automatic control of hydromechanical transmission of BelAZ quarry dump trucks is described. The purpose, functional properties and design features of the system components are given. The basic diagram of the experimental setup developed for studying the system operation is presented.

### Key words:

hydromechanical transmission, mechatronic system of automatic control, microprocessor controller, control mode selector, quarry dump truck.

Коллектив кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета в течение 40 лет активно участвует в проведении научных исследований и конструкторских разработок гидромеханических передач (ГМП) мобильных машин различных назначений и систем автоматического управления этими передачами. Для реализации выполняемых разработок в 1984 г. решением Минтракторосельхозмаши СССР в ММИ была создана отраслевая НИЛ «Системы управления тягово-транспортными машинами», которая действовала до 1993 г., что позволило осуществить ряд проектов.

Совместно с конструкторами

РУП «БелАЗ» создано и внедрено в производство семейство унифицированных ГМП для карьерных самосвалов и строительно-дорожных машин БелАЗ и МоАЗ с двигателями мощностью 200...600 кВт. Для боевой машины десанта БМД-950 «Бахча», выпускаемой на Волгоградском тракторном заводе, разработана система управления переключением передач.

В период 1995...2003 гг. выполнен комплекс научных исследований и разработок по созданию мехатронных систем автоматического управления (МСАУ), ориентированных на использование электроники. Разработаны ме-

тодика синтеза адаптивных электронных систем управления ГМП и алгоритмы управления [1, 3, 4, 9]. На их основе в 2003 г. создана первая опытная МСАУ для военной гусеничной машины ГМ-352М1Е, выпускавшейся на МТЗ, а в 2004...2005 гг. – для карьерного самосвала БелАЗ-7516 г/п 130 т. Однако серийное производство этих машин не состоялось.

Учитывая положительные результаты испытаний опытных образцов МСАУ, с 2008 г. начался новый этап их разработки и освоения. Разработка осуществлялась для самосвала БелАЗ-7555 г/п 60 т. Структура МСАУ была скомплектована на базе импортных компонентов, в основном фирмы «Рексрот Бош Груп». Машина успешно прошла этап заводских испытаний и была отправлена для работы в карьере «Гранит» (г. Микашевичи, Брестская обл.), где прошла около 100 тыс. км.

Положительная оценка результатов испытаний позволила сформировать и утвердить в 2010 г. в ГНТК задание А-06.22 «Разработать и освоить производство мехатронной системы управления гидромеханической передачей карьерных самосвалов БелАЗ» ГНТП «Машиностроение». В итоге к концу 2013 г. был получен полный комплект компонентов МСАУ. В его создании принимали участие коллективы трёх организаций: кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета; лаборатории электрогидравлических систем управления Объединенного института машиностроения НАН Беларуси и предприятия ОАО «Измеритель». Техническое задание на компоненты разработал научный руководитель коллектива Белорусско-Российского университета.

Созданная МСАУ имеет распределенную структуру, состоит из множества компонентов, располагаемых в различных местах самосвала [2, 5, 6].

На рис. 1 представлена структурная схема МСАУ. В её состав входят

следующие компоненты: микропроцессорный контроллер; селектор режимов управления ГМП; блок аварийного управления БАУ (размещен в корпусе селектора); электронная педаль акселератора; панель индикации; электрогидравлические пропорциональные клапаны ЭГПК управления фрикционами ГМП; электрогидравлический клапан управления тормозом-замедлителем ЭГК\_ТЗ; датчики частоты вращения валов ГМП (ДЧ1 – вала турбины; ДЧ2 – промежуточного вала; ДЧ3 – выходного вала); датчики давления (Д\_ГЛ – главного давления; Д\_ГТ – давления гидротрансформатора; Д\_СМ – давления смазки); реле давления в каналах подачи масла в гидроцилиндры фрикционов РД; датчик температуры масла ГМП Д\_ТМ; переключатель режимов управления ПРУ; датчик стояночного тормоза Д\_СТ; датчик рабочего тормоза Д\_РТ; датчик положения грузовой платформы самосвала Д\_ПП; датчик включения тормоза-замедлителя Д\_ТЗ; датчик засоренности фильтра тонкой очистки масла ГМП Д\_ЗФ; система контроля загрузки самосвала СКЗ.

Для отображения принадлежности компонентов ЭГПК и РД соответствующему фрикциону ГМП использованы следующие обозначения: Ф1, Ф2, Ф3 – фрикционы первой, второй и третьей передач соответственно; Фпн, Фпв – фрикционы понижающего и повышающего диапазонов; ФР – фрикцион передачи заднего хода (реверса); Фбл – фрикцион блокировки гидротрансформатора.

Питание всех компонентов МСАУ осуществляется от бортовой сети самосвала через замок зажигания.

МСАУ обеспечивает три режима управления ГМП: автоматический, командный и аварийный. В автоматическом режиме производится автоматическое переключение передач и автоматическое управление блокированием гидротрансформатора. В командном режиме передачи переключает водитель

вручную посредством перемещения рычага селектора, а управление блокированием гидротрансформатора автоматическое. Аварийный режим управления используется при необходимости доставки самосвала с неисправной МСАУ

или ГМП на базу ремонта. На этом режиме можно включить первую передачу и передачу реверса. Включение аварийного режима осуществляется переключателем режимов управления ПРУ (см. рис. 1).

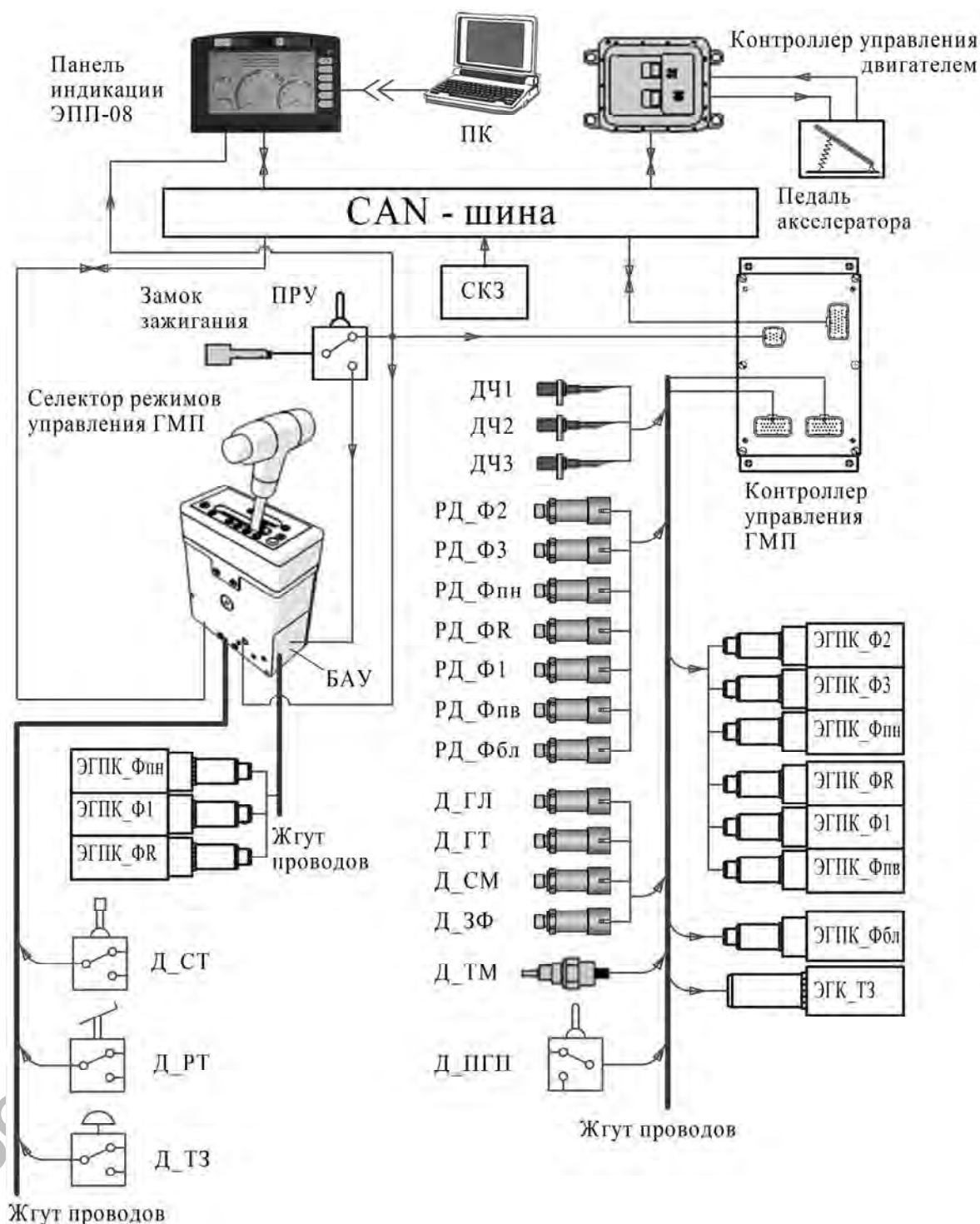


Рис. 1. Структурная схема МСАУ ГМП

В штатном режиме питание от замка зажигания поступает через переключатель ПРУ к селектору режимов управления, контроллеру и панели индикации, обеспечивая их функционирование в автоматическом и командном режимах управления. При использовании аварийного управления питание компонентов МСАУ отключается переключателем ПРУ, а силовые выходы контроллера при этом отключаются от электромагнитов ЭГПК.

Аварийное управление обеспечивается специальным блоком БАУ, размещенным в корпусе селектора режимов управления, в котором расположены силовые выходы этого блока. При переводе переключателя ПРУ в положение аварийного управления запрашивается электромагнит ЭГПК\_Фпн, что влечет за собой включение фрикциона понижающего диапазона. Включение первой передачи или передачи реверса в режиме аварийного управления осуществляется рычагом селектора, посредством которого выдается команда на включение питания электромагнита ЭГПК\_Ф1 первой передачи или электромагнита ЭГПК\_ФР передачи реверса. Линии передачи сигналов при использовании режима аварийного управления показаны на рис. 1.

В штатном режиме питание от замка зажигания поступает через переключатель ПРУ к селектору режимов управления, контроллеру и панели индикации, обеспечивая их функционирование в автоматическом и командном режимах управления. При использовании аварийного управления питание компонентов МСАУ отключается переключателем ПРУ, а силовые выходы контроллера при этом отключаются от электромагнитов ЭГПК.

Аварийное управление обеспечивается специальным блоком БАУ, размещенным в корпусе селектора режимов управления, в котором расположены силовые выходы этого блока. При переводе переключателя ПРУ в поло-

жение аварийного управления запрашивается электромагнит ЭГПК\_Фпн, что обеспечивает включение фрикциона понижающего диапазона. Включение первой передачи или передачи реверса в режиме аварийного управления осуществляется рычагом селектора, посредством которого выдается команда на включение питания электромагнита ЭГПК\_Ф1 первой передачи или электромагнита ЭГПК\_ФР передачи реверса. Линии передачи сигналов при использовании режима аварийного управления показаны на рис. 1.

Контроллер выполняет следующие функции: сбор информации об управляющих воздействиях на органы управления двигателем, гидромеханической передачей, тормозными механизмами, рабочим оборудованием; сбор информации о текущих значениях параметров реальных режимов работы двигателя, механизмов ГМП, загрузки автомобиля и параметров режима его движения; обработка информации в режиме реального времени; выполнение программы реализации алгоритмов управления; формирование управляющих команд на осуществление переключения передач и блокирование гидротрансформатора; формирование команды на управление режимом двигателя в процессе переключения передач; формирование управляющих команд на осуществление процесса управления давлением в гидравлических цилиндрах включаемых и выключаемых фрикционов при переключении передач; формирование команды на управление гидродинамическим тормозом-замедлителем; осуществление оперативного диагностирования технического состояния электронных компонентов и электрогидравлических исполнительных механизмов системы управления гидромеханической передачей и выявление их неисправностей; выявление ошибочных действий водителя по управлению ГМП и двигателем, парирование этих действий; формирование информации о неисправностях,

организация ее хранения в энергонезависимой памяти контроллера, обеспечение передачи информации на панель индикации и на ноутбук по запросу.

Контроллер в режиме реального времени взаимодействует со всеми электронными компонентами механической системы автоматического управления ГМП самосвала. Связь с селектором режимов управления, подсистемой управления двигателем, системой контроля загрузки (СКЗ) самосвала и панелью индикации осуществляется по CAN-шине. Обмен информацией между ними и передача сигналов управления обеспечиваются посредством интерфейса CAN 2.0 В. Формат CAN-сообщений соответствует стандарту J1939.

Передача управляющих сигналов на электрогидравлические пропорциональные клапаны ЭГПК управления фрикционами гидромеханической передачи осуществляется непосредственно от широтно-импульсных модуляторов (ШИМ) контроллера. Конструкция и принцип действия ЭГПК подробно описаны в [2, 5–7, 10]. Внешний вид ЭГПК представлен на рис. 5, а. Управление гидродинамическим тормозом-замедлителем происходит с помощью электромагнита дискретного типа.

В автоматическом режиме управления ГМП контроллер осуществляет формирование управляющих команд на переключение передач и блокирование гидротрансформатора и обеспечивает выполнение программы алгоритма управления фрикционами в процессе их включения и выключения.

Управляющие команды на переключение передач формируются на базе информации об изменении параметров процесса движения самосвала (скорости, ускорения) с учетом управляющих воздействий водителя на органы управления (педаль акселератора, педаль рабочего тормоза, состояние стояночного тормоза, положение грузовой платформы), а также загрузки самосвала и дорожных условий. Основой алгоритма

этих команд являются базисные характеристики автоматического переключения передач.

Предусмотрены два вида характеристик автоматического переключения передач, позволяющие получить динамичный или экономичный режимы движения самосвала [1]. Динамичному режиму свойственно эффективное использование мощности двигателя и возможность достижения высокого значения средней скорости движения, а следовательно, и производительности самосвала. Экономичный режим позволяет снизить расход топлива, но при этом получается несколько меньшее значение средней скорости.

На рис. 2 приведены характеристики автоматического переключения передач самосвала БелАЗ-7555Е. Сплошными линиями изображены характеристики пороговых значений скорости  $v$ , при достижении которых производится переключение с низших на высшие передачи, а штриховыми – характеристики пороговых значений скорости при переключениях с высших на низшие передачи. Характеристики переключений зависят от положения педали акселератора  $\gamma_a$ , %. При  $\gamma_a < 65$  % приняты постоянные пороговые значения скоростей, поэтому фактически переключение передач в этом случае не происходит.

После каждого переключения передачи в автоматическом режиме контроллер устанавливает задержку возможности формирования следующего переключения на время 2...3 с. В качестве источника информации об изменении скорости самосвала используется датчик частоты вращения выходного вала ГМП  $n_{в.в}$ .

Если включен стояночный тормоз или не опущена грузовая платформа, формирование команд на переключение передач не осуществляется.

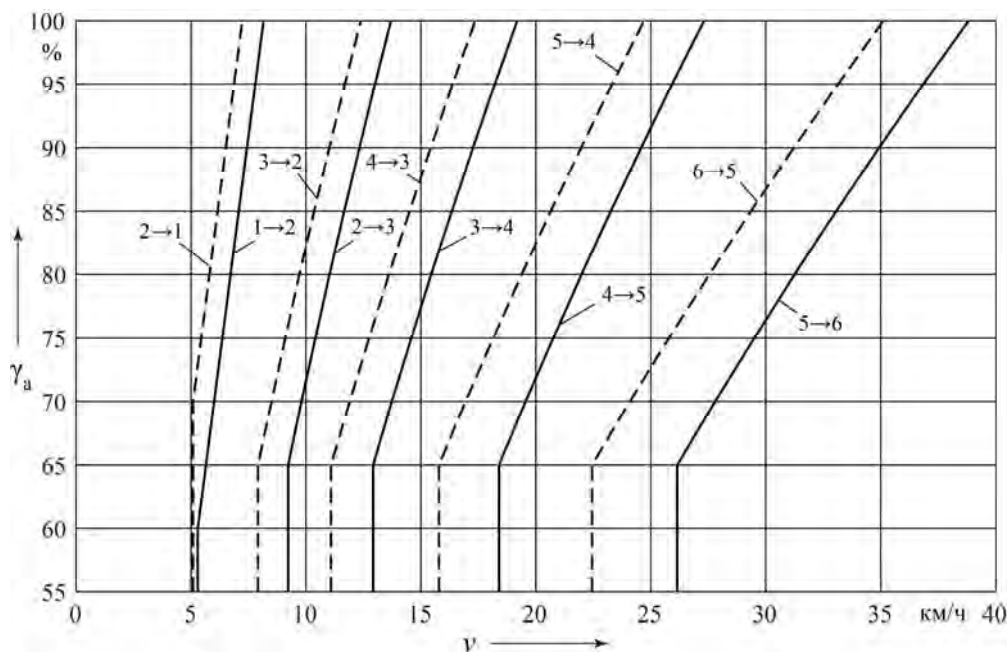


Рис. 2. Характеристики автоматического переключения передач

При торможении движущегося самосвала рабочим тормозом переключение передач не производится, а после прекращения торможения включается передача, соответствующая действительной скорости. Первая передача и передача реверса включаются только при условии, если частота вращения вала двигателя не превышает 800 об/мин, а частота вращения выходного вала ГМП не более 50 об/мин.

На командном режиме управления переключение на высшую передачу возможно при любой скорости самосвала, а на низшую — лишь при снижении скорости до заданных предельных значений.

Блокировка гидротрансформатора выполняется автоматически на всех передачах в автоматическом и командном режимах управления. На первой передаче и передаче заднего хода гидротрансформатор не блокируется. Он также не блокируется в положении **N** рычага селектора (нейтраль в коробке передач) и при поднятой грузовой платформе. При снижении частоты враще-

ния вала турбины ниже 1200 об/мин гидротрансформатор разблокируется. Разблокировка гидротрансформатора происходит также при включении рабочего или стояночного тормоза.

Контроллер управления ГМП содержит мощный 16-битный микропроцессор и средства управления специальными устройствами. В качестве среды программирования используется операционная система CoDeSys v.2.3 от 3S-Smart Software Solutions международного стандарта IEC 61131-3. Функциональная схема контроллера приведена на рис. 3, а на рис. 4, а показан его общий вид.

Контроллер имеет аналоговые, резистивные и частотные входы, дискретные выходы и выходы сигналов управления фрикционами ГМП, формируемых контроллером по соответствующим алгоритмам посредством ШИМов. Входы защищены от перенапряжений и электрических наводок. Дискретные выходы предназначены для прямого управления электромеханическими реле, лампами и выключателями.

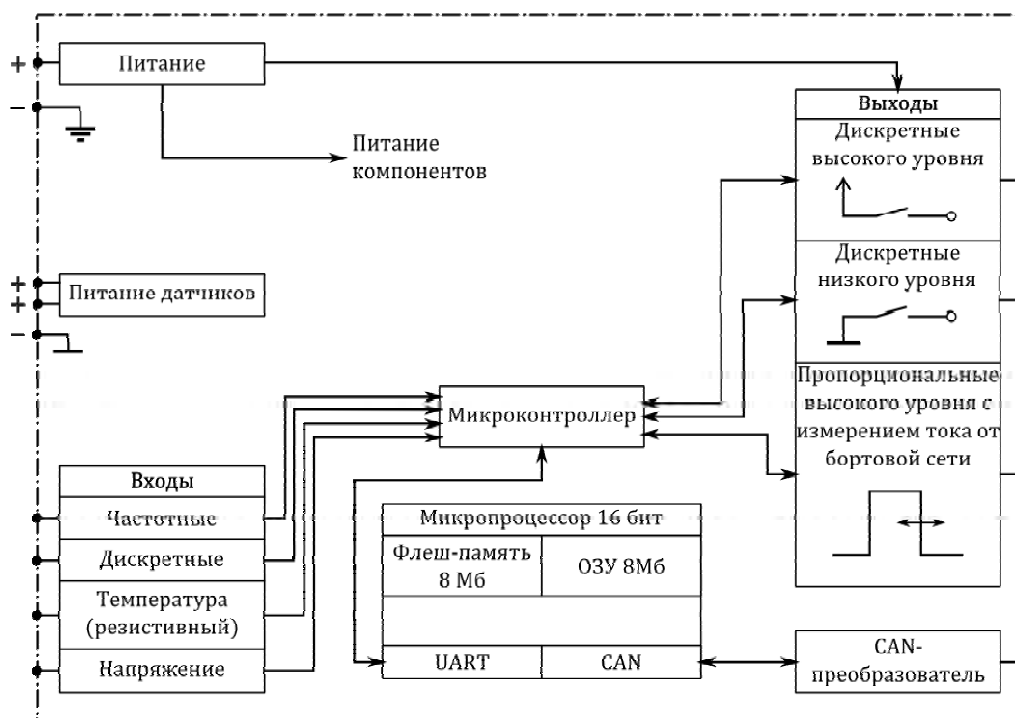


Рис. 3. Функциональная схема контроллера

а)



б)



Рис. 4. Внешний вид контроллера (а) и селектора режимов управления ГМП (б)

На выходах ШИМов формируются токовые сигналы управления пропорциональными электромагнитами, обеспечивающие

получение заданных характеристик изменения давления рабочей жидкости в гидроцилиндрах фрикционов

ГМП в процессе их включения и выключения. В контроллере использовано восемь ШИМов. Все ШИМы снабжены обратными связями по току, что позволяет компенсировать изменение сопротивления обмоток электромагнитов при их нагреве и гарантировать соответствие характеристик заданного алгоритма управления с реализуемыми характеристиками включения фрикционов.

Селектор режимов управления ГМП [8, 11] представляет собой электромеханическое устройство и предназначен для выполнения следующих функций: выбор и задание водителем режимов управления переключением передач ГМП; сбор и обработка информации о воздействиях водителя на рычаг селектора; формирование информационных сигналов о выбранных режимах управления и передача их по CAN-каналу в контроллер ГМП и в панель индикации; осуществление аварийного управления в случае выхода из строя контроллера, электронного блока селектора или CAN-шины.

Внешний вид селектора представлен на рис. 4, б. Селектор обеспечивает формирование сигналов управления для осуществления следующих режимов управления ГМП:

- «**P**» – состояние парковки автомобиля (Parking);
- «**N**» – нейтральное состояние ГМП (Neutral);
- «**D**» – режим автоматического управления переключением передач (Drive);
- «**R**» – режим движения назад (Reverse – реверсирование);
- «**L**» – режим запрета включения высших передач при автоматическом управлении ГМП (Low);
- «**C**» – режим командного управления переключением передач (Command);
- «+» – повышение номера передачи в командном режиме;
- «-» – понижение номера передачи в командном режиме.

Механизмы селектора смонтированы в закрытом корпусе. Выбор режимов управления ГМП производится посредством рычага селектора, который может перемещаться в двух продольных плоскостях и в одной поперечной плоскости относительно соответствующих пазов (дорожек), выполненных на лицевой панели селектора. При движении рычага в левой длинной продольной дорожке спереди назад он последовательно перемещается в фиксированные положения **P**→**R**→**N**→**D**→**L**.

Для использования командного режима управления переключением передач рычаг селектора переводится в положение **C**, находящееся в правой короткой дорожке. Этот переход возможен только из положения **D** автоматического режима управления путем поворота рычага в поперечной плоскости и перемещения его вдоль поперечной дорожки вправо.

Во всех позициях рычага селектора, кроме позиций «+» и «-», происходит фиксация его состояния. Для этого использованы два пружинных фиксатора и два механизма жесткого стопорения (блокировки) рычага. Один из механизмов жесткого стопорения управляется электромагнитом, а второй – кнопкой, расположенной на рукоятке рычага селектора.

Жесткое стопорение рычага селектора электромагнитным механизмом осуществляется в положениях **P** и **N**. Блокирование рычага в этих положениях предотвращает случайные непреднамеренные его перемещения в другие положения, что исключает вероятность самопроизвольного трогания автомобиля с места и обеспечивает безопасность управления. Во всех остальных положениях рычага электромагнитный механизм стопорения находится в выключенном состоянии. Возможность перемещения рычага в дорожках лицевой панели селектора контролируется пружинными фиксаторами, а в положениях **P**, **R** и **L** – дополнительно пружинным



механизмом стопорения, управляемым кнопкой рычага селектора.

Для получения информации о положениях рычага селектора использованы бесконтактные датчики Холла, а информация о выбираемых водителем режимах высвечивается светодиодными индикаторами в окошках, расположенных на лицевой панели селектора напротив соответствующих положений его рычага (см. рис. 4, б). Окошки индикации положений **P, R, N, D, L** находятся слева от длинной продольной дорожки, а окошки индикации режимов «+» и «-» расположены вдоль оси короткой продольной дорожки. Положение **C** не имеет индикатора. Индикация обозначений режимов осуществляется зеленым цветом.

В передней части лицевой панели селектора находится индикатор электромагнитной блокировки рычага, который горит красным цветом в положениях **P** и **N**. В задней части расположена двухпозиционная кнопка выбора экономичного или динамичного режимов автоматического управления переключением передач. Ее подсветка осуществляется на динамичном режиме. Информационный сигнал о выбранном режиме передается по CAN-шине в контроллер, где происходит изменение параметров алгоритма управления.

Сигналы датчиков Холла о выбранном водителем режиме управления ГМП поступают в электронный блок селектора. В этот же блок направляются дискретные сигналы датчиков о положении других органов управления самосвалом: рабочим тормозом, стояночным тормозом, тормозом-замедлителем. Все эти сигналы в электронном блоке селектора подвергаются кодировке и преобразованиям в числовую форму и передаются по CAN-шине в контроллер управления ГМП и в панель индикации.

Для реализации функции аварийного управления селектор располагает автономными силовыми выходами, которые могут быть напрямую связаны с

электромагнитами управления фрикционами, обеспечивающими включение первой передачи и передачи заднего хода. Возникновение аварийного состояния системы автоматического управления ГМП отображается на панели индикации и сопровождается звуковым сигналом. Включение аварийного режима осуществляется переключателем ПРУ (см. рис. 1), имеющим два фиксированных положения – «нормальный» и «аварийный» режимы работы. Этот переключатель расположен отдельно в малодоступном месте кабины.

Взаимодействие селектора режимов управления ГМП с другими компонентами МСАУ осуществляется посредством электрических связей.

Электронная педаль акселератора предназначена для формирования информационного сигнала о задаваемом водителем скоростном режиме дизельного двигателя.

Внешний вид педали акселератора представлен на рис. 5, б.

Информационный сигнал формируется посредством двух бесконтактных аналоговых датчиков угла поворота и бесконтактного дискретного переключателя холостого хода, совокупность которых представляет собой датчик положения педали акселератора ДП. Применение двух датчиков положения педали акселератора позволяет обеспечивать постоянный контроль достоверности получаемой информации о задаваемом водителем скоростном режиме двигателя путем сравнения их выходных сигналов.

Питание обоих датчиков угла поворота осуществляется от источников стабилизированного напряжения постоянного тока контроллера управления двигателем. Один из датчиков запитывается напряжением 5 В, а второй – 8 В.

На рис. 6 показаны характеристики выходных сигналов обоих датчиков. Выходные сигналы этих датчиков передаются в контроллер управления двигателем, где подвергаются цифровому ко-

дированию и в цифровом виде поступают в CAN-шину, из которой информация о положении педали акселерато-

ра получает контроллер управления ГМП.

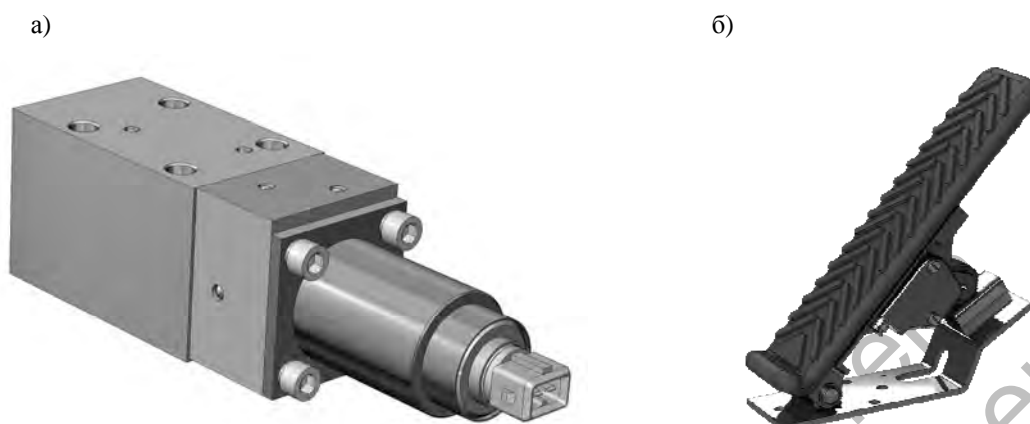


Рис. 5. Внешний вид ЭГПК (а) и педали акселератора ПЭ-45-05 (б)

В контроллер двигателя также направляется дискретный сигнал датчика переключателя холостого хода, включение которого происходит при повороте педали акселератора на угол свыше 1,5 град от исходного состояния. Максимальный угол поворота педали аксе-

лератора составляет 18 град. Пределы изменения выходных напряжений датчиков указаны на рис. 6.

Созданные предприятием ОАО «Измеритель» датчик частоты вращения валов ДЧИ-10 и датчик температуры ДТ-01 представлены на рис. 7.

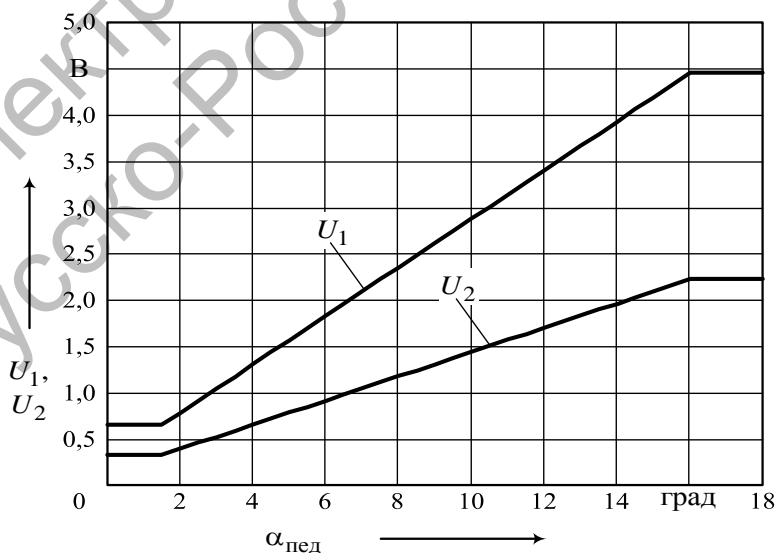


Рис. 6. Характеристики выходных сигналов датчика положения педали акселератора

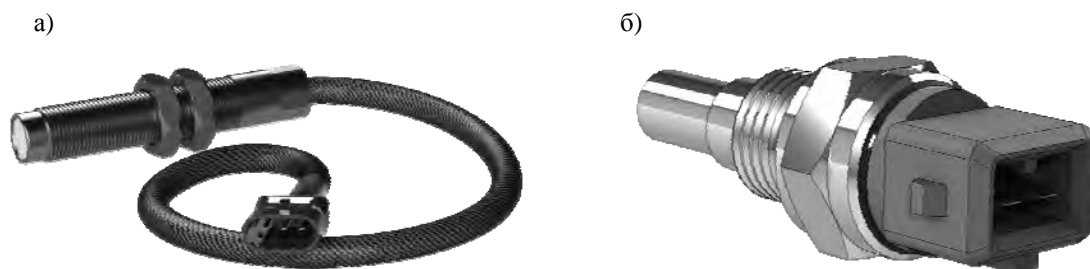


Рис. 7. Внешний вид датчиков частоты вращения ДЧИ-10 (а) и температуры ДТ-01 (б)

Датчик ДЧИ-10 импульсного типа. Количество импульсов за один оборот контролируемого вала равно числу выступов вращающегося ферромагнитного элемента, в качестве которого используется любое зубчатое колесо коробки передач ГМП. Датчик крепится в корпусе коробки передач на резьбе М20×1.

Для проведения исследовательских испытаний компонентов МСАУ на кафедре «Автомобили» Белорусско-Российского университета создана экспериментальная установка, функциональная схема которой приведена на рис. 8. Она включает в себя следующие компоненты: 1 – опытный образец контроллера ГМП; 2 – плата сбора данных National Instruments USB-6343; 3 – персональный компьютер; 4 – селектор режимов управления ГМП; 5 – панель индикации ЭПП-08 для вывода информации, используемая штатно на самосвалах БелАЗ (разработчик – фирма УП «Сенсор-плюс», г. Минск); 6 – электронная педаль акселератора; 7 – блок тумблеров; 8 – блок потенциометров; 9 – блок светодиодов; 10 – CAN-шина.

На экспериментальной установке проводится имитация процессов управления ГМП с целью оценки полноты и качества выполнения МСАУ всех предусмотренных функций. Имитируются режимы движения, наиболее характерные для карьерного самосвала: разгон порожнего и груженого автомобиля с места по горизонтальной дороге в режиме автоматического и ручного переключения передач; движение карьерного самосвала в гору с заданными укло-

нами при автоматическом и ручном переключении передач; движение задним ходом; аварийный режим управления.

Имитация процесса движения автомобиля осуществляется на персональном компьютере 3 на основе математической модели карьерного самосвала БелАЗ-7555Е, реализованной в программном продукте MATLAB (Simulink). Интегрирование дифференциальных уравнений математической модели происходит в режиме реального времени. В этом же режиме производится обмен информацией с контроллером 1 через CAN-шину 10.

От контроллера в компьютер поступает информация о номере передачи и включаемых фрикционах ГМП, положении педали акселератора 6, состоянии рабочего и стояночного тормозов. В контроллер передается информация о частотах вращения вала двигателя, турбинного колеса ГДТ, промежуточного и выходного валов ГМП, значения которых получают на основе математического моделирования процесса движения самосвала. Математическая модель карьерного самосвала позволяет имитировать различные режимы движения.

Имитация сигналов о положениях органов управления карьерным самосвалом в экспериментальной установке реализована с помощью электронной педали акселератора 6, селектора режимов управления 4, блока тумблеров 7 и блока потенциометров 8. Блок тумблеров состоит из шести тумблеров, имитирующих источники информации о режимах работы ГМП: датчик засорен-

ности фильтра ГМП, дискретный датчик положения педали рабочей тормозной системы, кнопку включения тормоза-замедлителя, датчик включения стояночной тормозной системы, дискретный датчик положения грузовой платформы, кнопку аварийного управления ГМП.

Блок потенциометров включает в себя три потенциометра, позволяющие имитировать датчики температуры масла ГМП и охлаждающей жидкости двигателя и датчик давления масла главной гидромагистрали системы управления ГМП.

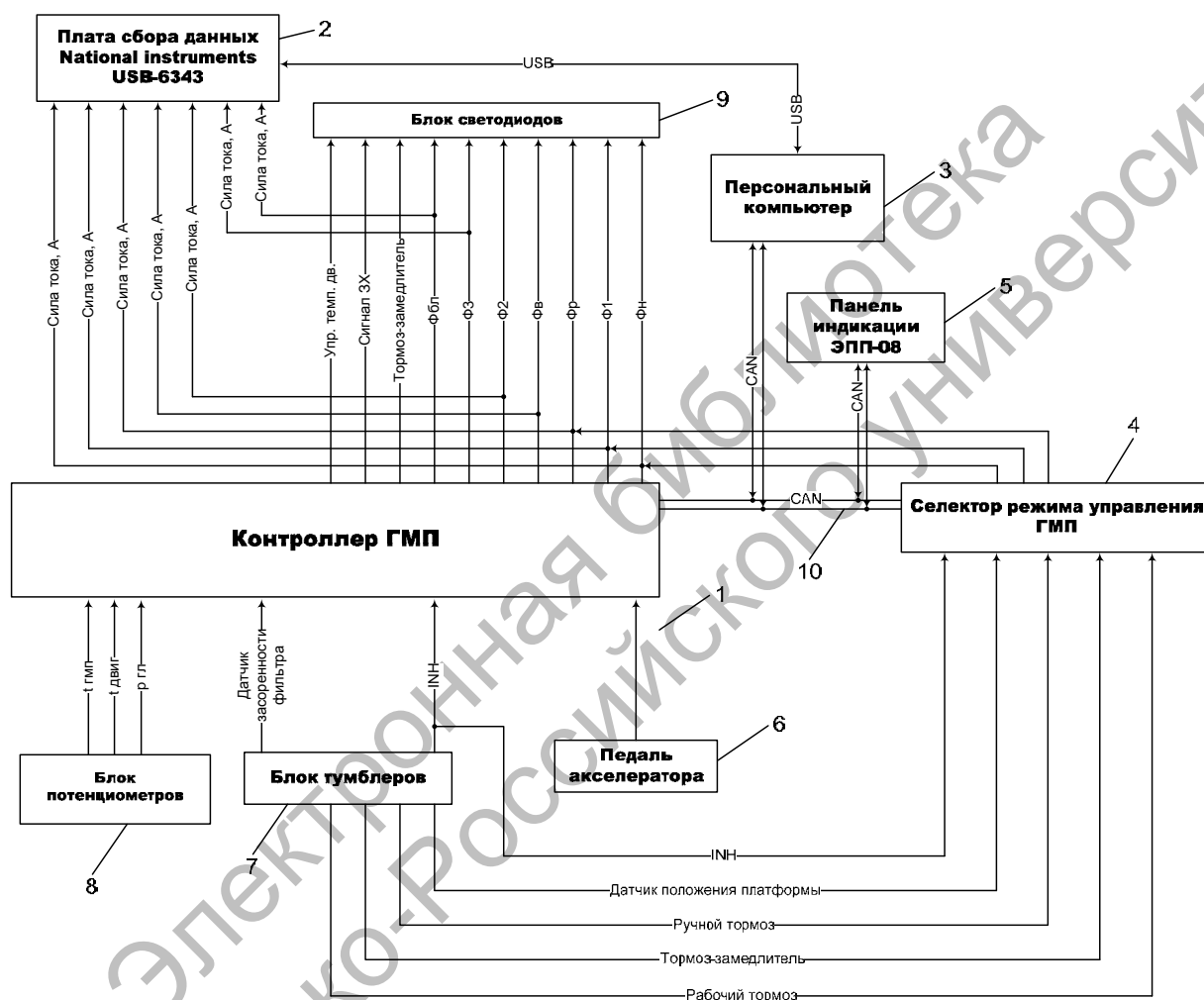


Рис. 8. Принципиальная схема экспериментальной установки для испытаний MCAU

Для индикации состояния дискретных выходов и ШИМ-выходов контроллера экспериментальная установка оснащена блоком светодиодов 9. С помощью дисплея 5 осуществляется контроль состояния мехатронной системы управления в режиме реального времени. Измерение управляющих сигналов ШИМ-выходов контроллера в процессе

переключения передач производится посредством платы сбора данных 6 USB-6343.

Исполнительная программа контроллера аналогична исполнительной программе мехатронной системы реального карьерного самосвала, за исключением блока обработки сигналов с датчиков частоты вращения валов ГМП. В

данной исполнительной программе информация о частотах вращения вала двигателя, турбинного колеса ГМП, промежуточного и выходного валов ГМП в контроллер поступает по CAN-шине от персонального компьютера 3, который производит вычисления значений на основе математической мо-

дели движения самосвала, реализуемой в MATLAB.

Проведенные исследования показали высокую эффективность и работоспособность созданной МСАУ. Применение её на карьерных самосвалах БелАЗ позволяет повысить их технический уровень и конкурентоспособность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами : монография / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : Технопринт, 2004. – 512 с. : ил.
2. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин : монография / Н. Н. Горбатенко [и др.] ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. П. Тарасика. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с.
3. **Тарасик, В. П.** Синтез алгоритма автоматического переключения передач автомобиля с гидромеханической трансмиссией / В. П. Тарасик // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 46–58.
4. **Тарасик, В. П.** Алгоритмы автоматического переключения передач автомобиля с гидромеханической трансмиссией / В. П. Тарасик, Р. В. Плякин // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 1. – С. 38–49.
5. Мехатронная система автоматического управления ГМП карьерного самосвала / В. П. Тарасик [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2010. – № 6. – С. 12–15.
6. **Тарасик, В. П.** Мехатронная система автоматического управления гидромеханической передачей карьерных самосвалов БелАЗ / В. П. Тарасик, Н. Н. Горбатенко, Р. В. Плякин // Грузовик. – 2011. – № 2. – С. 2–11.
7. **Тарасик, В. П.** Электрогидравлический механизм управления фрикционами гидромеханической передачи / В. П. Тарасик, Н. Н. Горбатенко, В. С. Савицкий // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2012. – № 2. – С. 89–100.
8. Селектор режимов управления автоматической трансмиссией автомобиля / В. П. Тарасик [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 4. – С. 102–111.
9. Способ управления автоматической двухдиапазонной коробкой передач и устройство для его осуществления : пат. RU 2 424 927, МПК В60W 10/10. / В. П. Тарасик, Н. Н. Горбатенко, И. М. Дычкин, Р. В. Плякин ; заявл. 16.03.09 ; опубл. 27.07.11, Бюл. № 21.
10. Двухступенчатый электрогидравлический механизм управления давлением : пат. RU 2 459 982, МПК F15B 13/043; F16H 61/06. / В. П. Тарасик, Н. Н. Горбатенко, И. М. Дычкин, Р. В. Плякин ; опубл. 27.08.12, Бюл. № 24.
11. Устройство для выбора режимов управления автоматической трансмиссией автомобиля : пат. RU 2 491 459, МПК F16H 59/04; F16H 61/24 / В. П. Тарасик, Г. Л. Антипенко, В. И. Курстак, И. М. Дычкин ; опубл. 27.08.13, Бюл. № 24.

*Статья сдана в редакцию 12 марта 2015 года*

**Владимир Петрович Тарасик**, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет.  
E-mail: avto@bru.mogilev.by

**Николай Николаевич Горбатенко**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.  
E-mail: avto@bru.mogilev.by

**Роман Владимирович Плякин**, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет.  
E-mail: romanp@tut.by.

**Виктор Сергеевич Савицкий**, ведущий инженер, Белорусско-Российский университет.  
E-mail: 6270487@gmail.com.

**Vladimir Petrovich Tarasik**, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University.  
E-mail: avto@bru.mogilev.by.

**Nikolai Nikolayevich Gorbatenko**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.  
E-mail: harb\_60@tut.by.

**Roman Vladimirovich Pliakin**, senior lecturer, Belarusian-Russian University. E-mail: romanp@tut.by.

**Viktor Sergeyeovich Savitsky**, principal engineer, Belarusian-Russian University. E-mail:6270487@gmail.com.