

УДК 629.3

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

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ

UDC 629.3

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

## THE SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF HYDROMECHANICAL TRANSMISSIONS

### **Аннотация**

Приведена структурная схема разработанной авторами мехатронной системы автоматического управления и диагностирования гидромеханической передачи карьерных самосвалов БелАЗ. Изложено описание алгоритмов мониторинга технического состояния механизмов гидромеханической передачи и формирования защитных функций системы управления, позволяющих предотвратить возникновение аварийных режимов работы и сохранить работоспособность гидромеханической передачи.

### **Ключевые слова:**

мониторинг, диагностирование, гидромеханическая передача, фрикцион, мехатронная система автоматического управления, карьерный самосвал.

### **Abstract**

The paper presents the structural diagram of a mechatronic system of automatic control and diagnostics developed by the authors for hydromechanical transmissions of BelAZ quarry dump trucks. The paper also describes the algorithms for monitoring the technical condition of hydromechanical transmission mechanisms and for forming protective functions of the control system that prevent the occurrence of emergency operation and maintain the operating capacity of a hydromechanical transmission.

### **Key words:**

monitoring, diagnostics, hydromechanical transmission, friction clutch, mechatronic system of automatic control, quarry dump truck.

На кафедре «Автомобили» Белорусско-Российского университета разработана мехатронная система автоматического управления и диагностирования гидромеханической передачи карьерных самосвалов БелАЗ [1-4]. На основе выполненного комплекса теоретических и экспериментальных исследований разработаны алгоритмы процессов управления и диагностирования гидромеханической передачи (ГМП), создано программное обеспечение управляющего микропроцессорного контроллера.

На начальном этапе разработки мехатронной системы автоматического управления (МСАУ) использовались импортные электронные компоненты, в основном компоненты производства фирмы «Бош Рексрот Групп» (Bosch Rexroth Group, Германия). На их основе были изготовлены опытные образцы МСАУ, отработаны алгоритмы управления и диагностирования, осуществлена доводка программного обеспечения. Затем в течение 2010...2012 гг. по заданию ГНТП «Машиностроение» были созданы отечественные компоненты ме-

хатронной системы автоматического управления (управляющий микропроцессорный контроллер, селектор режимов управления ГМП, пропорциональный электромагнит, электрогидравлический пропорциональный клапан, электронная педаль акселератора, датчик частоты вращения, датчик температуры). В их создании совместно с кафедрой «Автомобили» БРУ принимали участие сотрудники Объединенного института машиностроения НАНБ и конструкторы ОАО «Измеритель» (г. Новополоцк).

В статье рассматривается структура управляющей программы контроллера и алгоритмы мониторинга технического состояния механизмов ГМП и компонентов МСАУ.

Управляющая программа контроллера написана на языке программирования CoDeSys международного стандарта IEC-61131-3. Программа обеспечивает выполнение следующих основных функций: управление гидромеханической передачей; мониторинг ее технического состояния; защиту механизмов системы управления и гидромеханической передачи от повреждений в аварийных ситуациях.

Под мониторингом в данном случае подразумевается процесс сбора, регистрации, обработки и анализа информации, доставляемой системой датчиков, осуществляемый непрерывно во времени, на основе которого по соответствующему алгоритму контроллер формирует и выдает заключение о техническом состоянии компонентов гидромеханической передачи в процессе ее функционирования непосредственно во время выполнения автомобилем транспортной работы. Получаемая информация о возникновении неисправностей выводится на экран дисплея, а также записывается и хранится в электронном журнале неисправностей и доступна для использования в любой момент времени для проведения анализа и оценки технического состояния компонентов

МСАУ и механизмов ГМП.

Содержание и схемы алгоритмов управления гидромеханической передачей, описывающих процессы переключения передач и блокирования гидротрансформатора, приведены в [1-4].

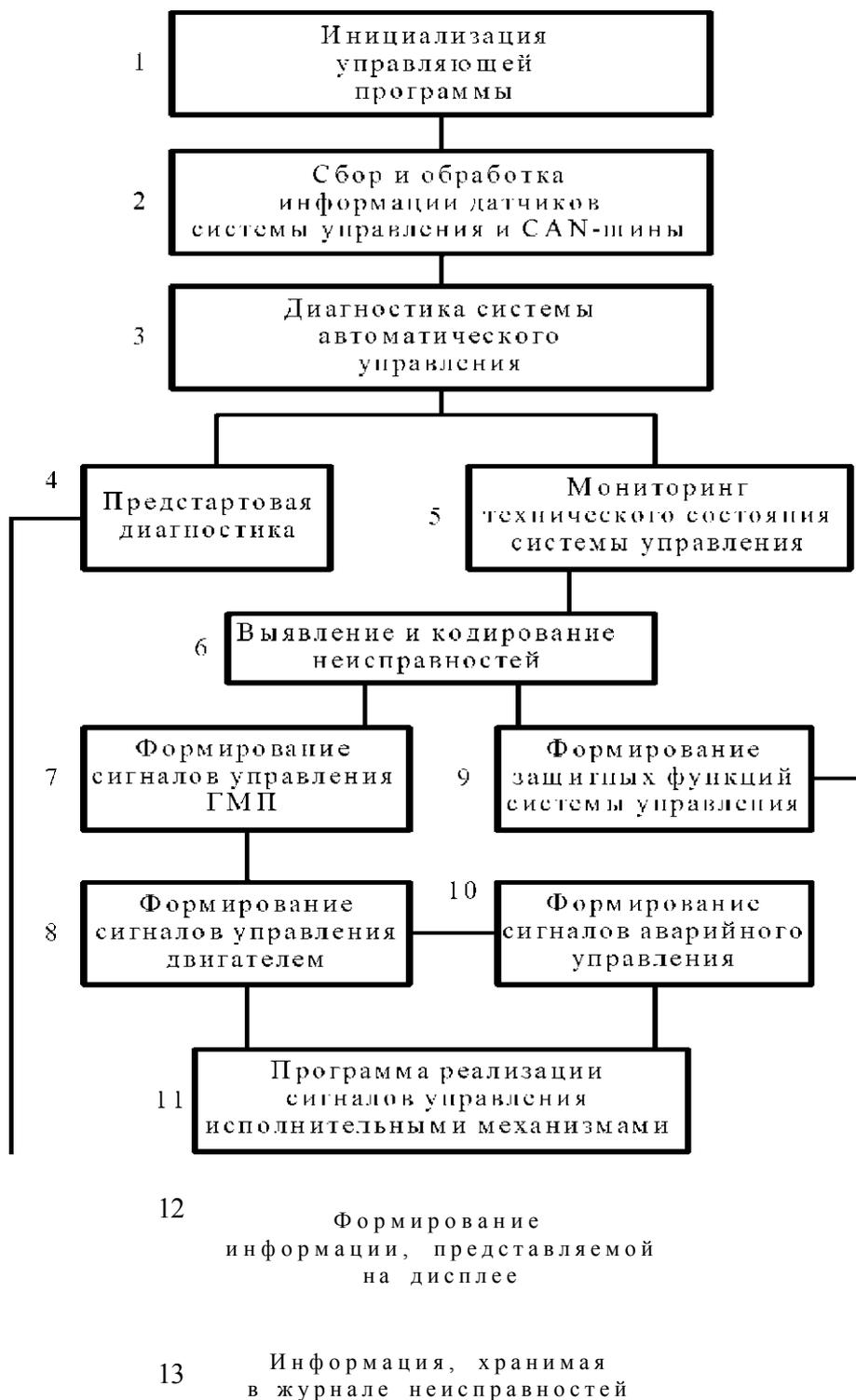
Управляющая программа хранится в энергонезависимой памяти контроллера EEPROM. При включении замка зажигания двигателя контроллер подключается к бортовой электросети, и программа запускается на выполнение, обеспечивая осуществление контроллером функций управления гидромеханической передачей и диагностирования ее технического состояния. Формирование команд на управление осуществляется на основе информации об управляющих воздействиях водителя на органы управления автомобилем, о параметрах движения автомобиля, режимах работы двигателя и механизмов гидромеханической передачи. Для получения необходимой информации система управления снабжена комплексом датчиков, в который входят датчики частоты вращения вала двигателя, турбины гидротрансформатора, промежуточного и выходного валов коробки передач; датчики давления в главной масляной магистрали гидросистемы управления ГМП, магистрали гидротрансформатора, магистралях системы смазки механизмов ГМП, масляных фильтрах, магистралях подачи жидкости в гидроцилиндры фрикционов; датчики положений педали акселератора, рабочего и стояночного тормозов, тормоза-замедлителя, положения грузовой платформы.

Кроме того, контроллер управления ГМП связан CAN-шиной с контроллером управления двигателем, селектором режимов управления гидромеханической передачей, дисплеем, системой контроля загрузки автомобиля. Селектор режимов управления ГМП снабжен электронным модулем, формирующим информацию о выборе водителем режима управления и положении рычага селектора. Предусмотрены три

режима управления гидромеханической передачей: автоматический, командный и аварийный.

управляющей программы контроллера, укрупненно отображающая содержание ее основных блоков.

На рис. 1 показана структура



10 Рис.1. Структура управляющей программы контроллера

При включении питания контроллера осуществляется инициализация управляющей программы (блок 1). Инструкции блока инициализации выполняются только на первом цикле работы: задается время цикла контроллера; инициализируются все входы, выходы и CAN-шина контроллера; считывается массив параметров управления из базы данных, хранящейся в энергонезависимой памяти контроллера.

Все остальные блоки управляющей программы выполняются циклически с заданным периодом, равным времени цикла контроллера. В блоке 2 опрашиваются все входы контроллера, на которые поступает информация с системы датчиков и CAN-шины, с последующей обработкой полученных сигналов.

В блоке 3 диагностируются все электронные компоненты: датчики, пропорциональные электромагниты, элементы и системы самого контроллера.

Далее алгоритм разделяется на два русла. В первом цикле работы контроллера выполняется программа предстартовой диагностики (блок 4). Начало реализации этой программы происходит только после запуска двигателя и достижения устойчивой частоты вращения его коленчатого вала на холостом ходу. Вначале производится проверка правильности подключения пропорциональных электромагнитов и исправности датчиков давления. Затем диагностируются неисправности гидравлической системы гидромеханической передачи: проверяются уровни давления в главной гидромагистрали управления фрикционными, магистрали гидротрансформатора, магистралях системы смазки, выявляется наличие заклинивания золотников электрогидравлических пропорциональных клапанов (ЭГПК), управляющих фрикционными ГМП. Если в блоке предстартовой диагностики не было обнаружено неисправностей системы управления, то механизмы коробки передач устанавливаются в исходное нейтральное положение. При этом ав-

томатически включается фрикцион понижающего диапазона коробки передач и система управления оказывается в готовности к осуществлению своих функций. При выявлении неисправности информация о ее виде отображается на дисплее, а движение автомобиля возможно после ее устранения.

На всех последующих циклах работы контроллера проводится непрерывный мониторинг технического состояния системы управления и механизмов ГМП. При этом реализуются алгоритмы выявления неисправностей, оценивается критичность их последствий и при необходимости выполняются операции формирования защитных функций системы управления, позволяющие сохранить общую работоспособность всей системы в целом и ее механизмов при возникновении аварийных режимов работы. В числе таких режимов - непредусмотренная комбинация включенных фрикционов на данной передаче, пробуксовывание фрикциона после завершения программы его включения (вследствие износа фрикционных дисков или недостаточного давления рабочей жидкости в гидроцилиндре фрикциона), выход из строя электромагнита ЭГПК, невыключение фрикциона предыдущей передачи вследствие заклинивания золотника ЭГПК, недопустимое снижение уровня давления в главной гидромагистрали ГМП.

Если система управления не имеет неисправностей, то в блоке 7 управляющей программы на основании информации о параметрах движения автомобиля, уровне его загрузки, положении педали акселератора, положении рычага селектора режимов управления ГМП, с учетом значений угловых скоростей вращения вала двигателя, турбины гидротрансформатора, выходного вала коробки передач контроллер формирует по соответствующим алгоритмам сигналы на переключение передач и блокирование гидротрансформатора, которые реализуются посредством фрик-

ционов ГМП. Управление процессами включения и выключения фрикционов осуществляется в режиме широтно-импульсной модуляции тока, подаваемого контроллером на пропорциональные электромагниты ЭГПК. При этом выполняется заданная программа регулирования давления в гидроцилиндрах включаемых и выключаемых фрикционов, обеспечивая высокие показатели качества переходных процессов при переключении передач (блок 11). Для снижения динамических нагрузок и теплонапряженности фрикционных дисков при переключении передач кратковременно понижается вращающий момент двигателя по соответствующему сигналу, передаваемому по CAN-шине в контроллер управления двигателем (блок 8).

При выявлении в блоке 6 наличия неисправностей системы управления информация о них поступает в блок 9 для подробного анализа с целью принятия решения о возможности продолжения работы автомобиля. Если выявленная неисправность может привести к аварийной ситуации, тогда в блоке 9 по соответствующим алгоритмам форми-

руются защитные функции системы управления, а в блоке 10 - сигналы аварийного управления, обеспечивающего сохранение работоспособности системы управления и механизмов гидромеханической передачи. Аварийная система управления позволяет безопасно продолжить движение автомобиля до места его ремонта. Если же возникшая неисправность угрожает катастрофическими последствиями и разрушением механизмов ГМП, водитель получает об этом информацию на экране дисплея, сопровождаемую звучанием зуммера. Все электромагниты МСАУ обесточиваются, фрикционы ГМП выключаются, и автомобиль теряет возможность продолжать движение. Водитель при этом обязан затормозить автомобиль. Все виды обнаруженных неисправностей заносятся на хранение в электронный журнал системы диагностики.

На рис. 2 показана циклограмма процесса изменения давлений в гидроцилиндрах включаемого  $p_2$  и выключаемого  $p_1$  (штриховая линия) фрикционов.

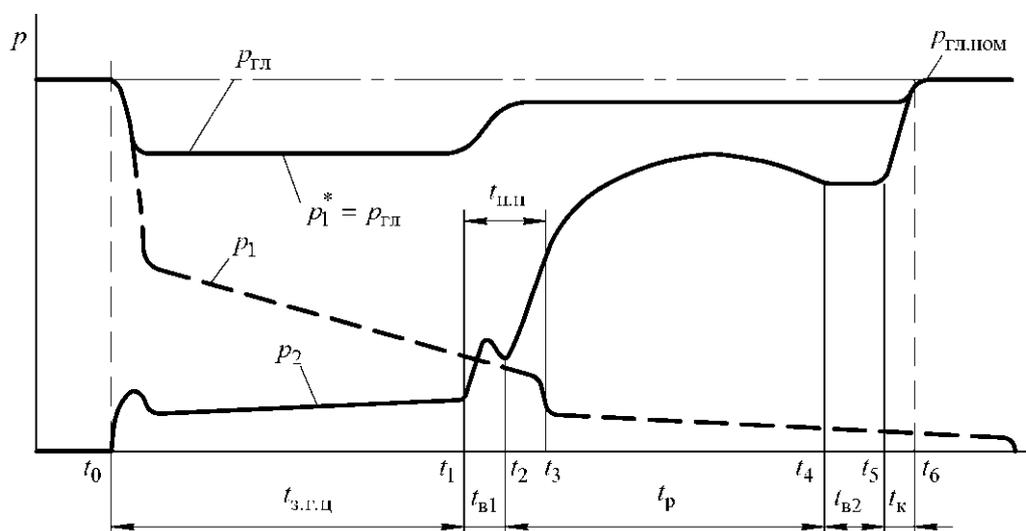


Рис. 2. Циклограмма изменения давлений в гидроцилиндрах фрикционов при переключении передачи

В момент времени  $t_0$  контроллер выдает сигнал на переключение передачи и запускает программу управления давлениями  $p_1$  и  $p_2$ . Приняты следующие обозначения интервалов времени, характеризующих процессы управления давлениями:  $t_{гц}$  - время заполнения гидроцилиндра включаемого фрикциона;  $t_p$  - время работы пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора давления (ПИД-регулятора);  $t_{г1}$  - время выдержки перед включением ПИД-регулятора;  $t^{\wedge}$  - время выдержки после окончания работы ПИД-регулятора;  $t_R$  - время нарастания давления до номинального значения  $P_2 = P_{г.л.ном}$ ;  $t_{н-н}$  - время переключения передач. В интервале времени  $t_{н-н}$  происходит буксование как включаемого, так и выключаемого фрикциона. Это обеспечивает непрерывную передачу потока энергии от двигателя к ведущим колесам, исключает падение скорости во время переключения передачи и повышает плавность движения автомобиля. Принимают время перекрытия передач  $t_{пп} = 0,1 \dots 0,2$  с. В момент времени  $t_3$  гидроцилиндр выключаемого фрикциона соединяется со сливом, давление в гидроцилиндре  $p_1$  падает, фрикционные диски освобождаются, а момент трения фрикциона становится равным нулю. После этого продолжает буксовать только включаемый фрикцион, обеспечивая постепенное снижение относительной скорости скольжения его фрикционных дисков.

Если же золотник ЭПК выключаемого фрикциона заклинивает, то этот фрикцион остается во включенном состоянии, давление  $p_u$  в его гидроцилиндре равно давлению в главной гидромгистрали  $p_1 = p_{г.л.}$ , поэтому пробуксовка его исключена. В результате начинается процесс блокировки трансмиссии, что требует принятия срочных мер к ее пре-

дотвращению. Если не прервать этот процесс, он может закончиться поломкой механизмов трансмиссии.

На рис. 3 приведена схема алгоритма защиты трансмиссии от состояния, в котором при невыключенной предыдущей передаче происходит включение другой передачи.

Алгоритм реализуется после подачи сигнала  $F_{ц} p_r = 1$  на переключение передач. В блоке 2 запускается таймер регистрации времени процесса переключения  $t^{\wedge}$  и осуществляется вычисление всех параметров: давлений  $p_1, P_2, p_{г.л.}$ , относительных скоростей скольжения фрикционных дисков включаемого  $U_{ск2}$  и выключаемого  $U_{ск1}$  фрикционов, частот вращения всех валов коробки передач, текущего значения передаточного числа коробки передач  $m_n^*$  и сравнение его с передаточным числом включаемой передачи

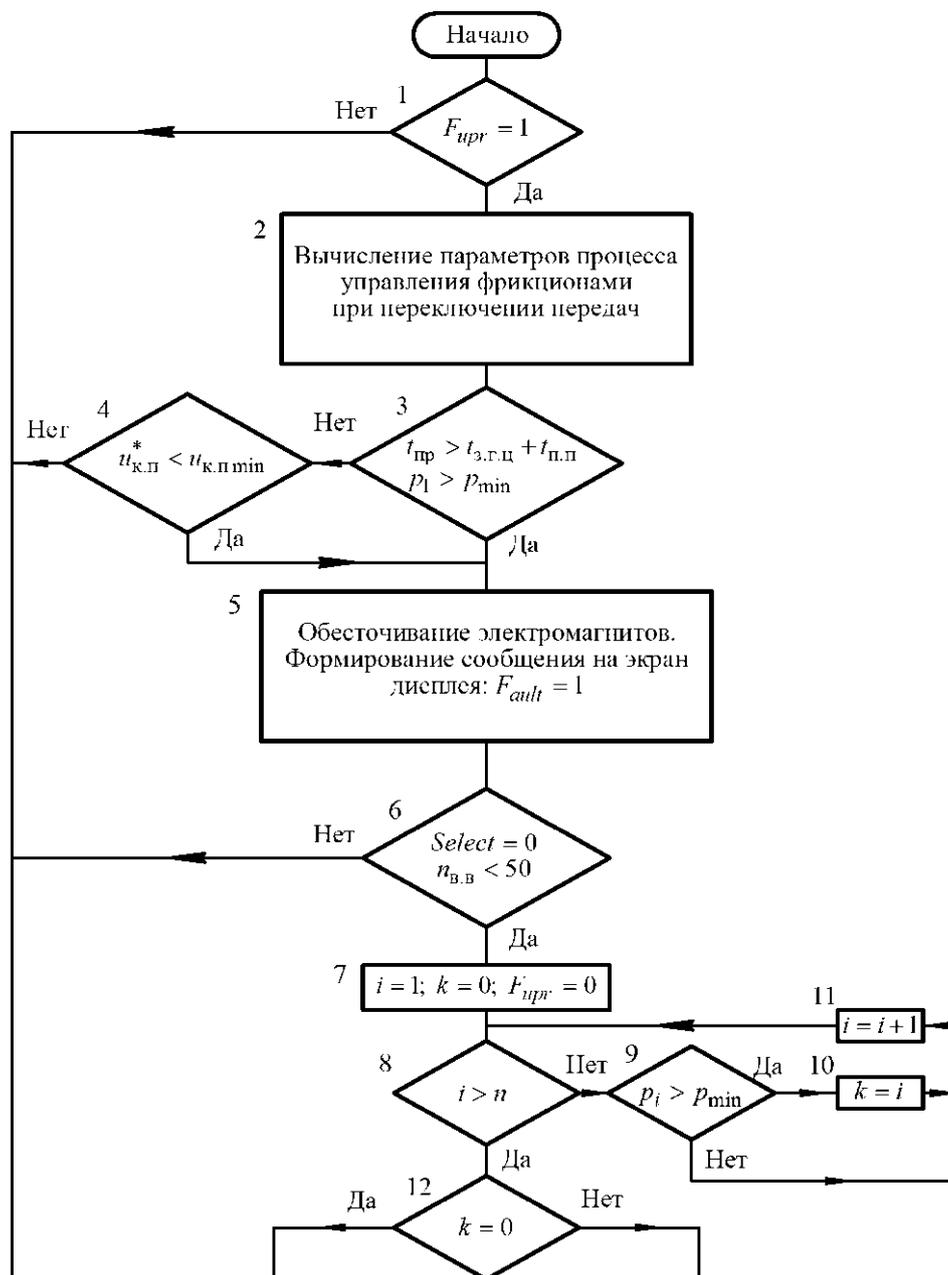
$u_{кш}$ . Значение  $u_{кп}$  вычисляется как отношение частоты вращения турбины гидротрансформатора  $n_m$  к частоте вращения выходного вала коробки пере-  

$$u_{кп} = \frac{n_m}{n_{в.в.}}$$

Алгоритм, как отмечалось выше, выполняется циклически, время цикла составляет 0,01 с. При выполнении условий блока 3, т. е. при превышении величиной времени процесса  $t^{\wedge}$  суммы времени заполнения гидроцилиндра  $t_{гц}$  включаемого фрикциона и времени перекрытия передач при одновременном превышении давления в гидроцилиндре выключаемого фрикциона  $p_1$  заданного минимального уровня давления  $P_{г.л.}$  выполняются предписания, изложенные в блоке 5: обесточиваются электромагниты всех фрикционов коробки передач, что прерывает процесс начавшегося переключения передачи и предотвращает возможность осуществления любого дру-

гого переключения; формируется и передается на экран дисплея сообщение о виде случившейся неисправности,

имеющей в данном случае код  $F_{aut} = 1$ .



Разрешение на дальнейшее движение.  $F_{aut} = 0$

Запрет движения. Запись в журнале неисправностей с указанием номера фрикциона с заклиненным золотником

Q Конец ^

Рис. 3. Схема алгоритма защиты от одновременного включения двух передач

Содержание сообщения в данном случае следующее: «Включены две передачи. Затормозите автомобиль. Включите нейтраль в КП». На экране также загорается красным цветом предупреждающий сигнал о серьезной неисправности, и подается звуковой сигнал зумера.

Если на интервале времени происходит слишком быстрое падение частоты вращения турбины гидротрансформатора, то значение  $i_n^*$  резко падает, поэтому при  $i_n < i_{к-ш.м}$  также обеспечивается прерывание процесса переключения передач.

После перевода рычага селектора режимов управления ГМП в нейтраль код этого положения принимает значение  $Select = 0$ , а скорость заторможенного автомобиля проверяется по частоте вращения выходного вала коробки передач  $p_{вв}$ , значение которой не должно превышать 50 об/мин. При выполнении этих условий, контролируемых блоком 6, запускается программа обнаружения номера заклиненного золотника, реализуемая в блоках 7.11. В этих блоках:  $i$  - номер проверяемого золотника;  $n$  - количество золотников;  $k$  - номер заклиненного золотника. После обнаружения заклиненного золотника, что соответствует  $k > 0$ , на экран дисплея выводится информация о запрете движения до устранения неисправностей и производится запись о ней в журнале неисправностей (блок 13).

Предположим, что процессы функционирования включаемого и выключаемого фрикционов по всем параметрам соответствуют параметрам алгоритма управления: в момент времени  $t_3$  произошло выключение фрикциона предыдущей передачи и продолжается процесс регулирования давления  $p_2$  в соответствии с программой работы ПИД-регулятора (см. рис. 2). Но при этом после отработки ПИД-регулятора и по истечении суммарного времени интерва-

лов регулирования давления  $t_p$ ,  $t_{п2}$  и  $t_R$  включаемый фрикцион не замкнулся, а продолжает пробуксовывать с некоторой величиной относительной скорости скольжения фрикционных дисков  $U_{ск2}$ .

На рис. 4 приведены графики изменения относительных скоростей фрикционных дисков включаемого  $U_{ск2}$  и выключаемого фрикционов, отражающие их изменение в рассматриваемом случае.

В интервале времени  $t^{\wedge}$  пробуксовка со скоростью скольжения, не превышающей величину  $U_{доп}$ , считается допустимой. Но информация о факте скольжения и его продолжительности сохраняется в памяти контроллера. Если время пробуксовки  $t_{бу_{кc}} > t^{\wedge}$ , то информация выводится на экран дисплея и записывается в журнал неисправностей. При этом одновременно записывается информация о величине главного давления  $p_{гл}$  и времени заполнения гидроцилиндра данной передачи  $t_{г.ц}^{\wedge}$ . Значение  $t_{г.ц}^{\wedge}$  характеризует величину износа фрикционных дисков. Это дает возможность водителю и механику принимать решение о необходимости регулировки главного давления либо выполнения ремонта.

Если же время пробуксовки  $t_{бу_{кc}}^{\wedge}$  превышает заданное предельное значение  $t_{бу_{кc}}^{\wedge}$ , а скорость скольжения дисков  $U_{ск2}$  превышает величину  $U_{доп}$  или при  $t_{бу_{кc}}^{\wedge} > t_{бу_{кc}}^{\wedge}$  значение  $U_{ск2}$  выше критической величины  $U_{кр}$ , то запускается программа защиты, обеспечивающая автоматическое выключение данной передачи с целью предотвращения перегрева фрикционных дисков и их коробления и последующего выхода из строя фрикциона. При этом разблокируется гидротрансформатор, включается низшая передача и снижается вращающий

момент двигателя на время переключения передачи. В дальнейшем запрещается включение передачи с неисправ-

ным фрикционом до устранения неисправности.

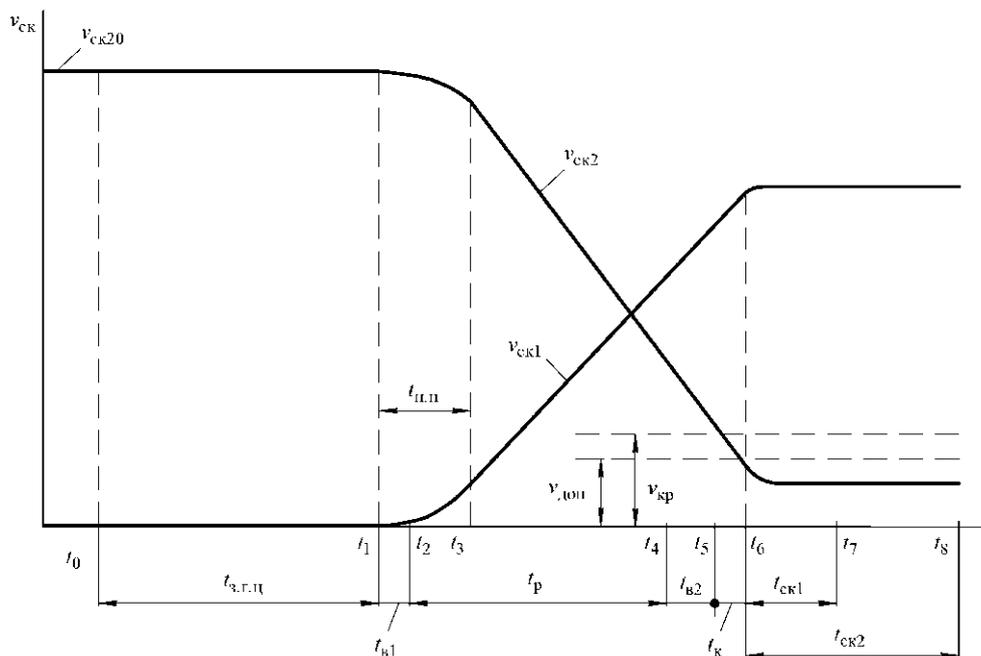


Рис. 4. Графики относительных скоростей фрикционов при переключении передач

Значения  $v^{\wedge}$  и  $v_{доп}$  определяются для каждого фрикциона коробки передач исходя из условий допустимой температуры нагрева фрикционных дисков за время буксования соответственно  $t_{к1}^{\wedge}$  и  $t^{\wedge}$ . Значения интервалов  $t^{\wedge i}$  и  $t^{\wedge}$  принимают в следующих пределах:  $t_{к1} = 0,8...1,0$  с;  $t_{к2} = 3...^4$  с.

На рис. 5 приведена схема алгоритма защиты фрикционов коробки передач от возможного перегрева при их пробуксовке после включения передачи.

Проверка состояния фрикциона включенной передачи осуществляется после завершения процесса регулирования давления  $P_2$  в гидроцилиндре фрикциона, что фиксируется значением кода управления  $F_{упг} = 0$ . В блоке 2 вычисляются параметры состояния фрикциона, определяется значение  $v^{\wedge}$ , которое в последующих блоках сравнива-

ется с величинами  $v^{\wedge}$  и  $v_{доп}$  по истечении соответствующих интервалов времени буксования  $t_{к1}^{\wedge}$  и  $t^{\wedge}$ . В блоке 3  $v^{\wedge 2}$  сравнивается с величиной  $A$ , отображающей допустимую ошибку вычисления значения  $v^{\wedge}$ . При выполнении условий блоков 4 и 5 происходит переход к блоку 8, в котором реализуется алгоритм защиты неисправного фрикциона от аварийного состояния при превышении критического значения скорости скольжения дисков  $v^{\wedge}$ . В блоках 6 и 7 анализируется возможность превышения скорости скольжения допустимой величины  $v_{доп}$  при времени буксования  $t_{букс} > t_{к1}^{\wedge}$ , что также недопустимо, поэтому и при этих условиях реализуется программа защиты.

В блоке 9 формируются параметры программы, предотвращающей

включение передачи с неисправным фрикционом до ликвидации неисправности. В любом случае при превышении значений  $u_{кр}$  или  $u_{доп}$  информация записывается и хранится в журнале неис-

правностей (блок 10). Значения  $u_{ск1}$  и  $u_{ск2}$  записываются соответственно при  $\%u_{кск} = \wedge_{к!} \text{ " } \%u_{кск} = \wedge_{ск2} .$

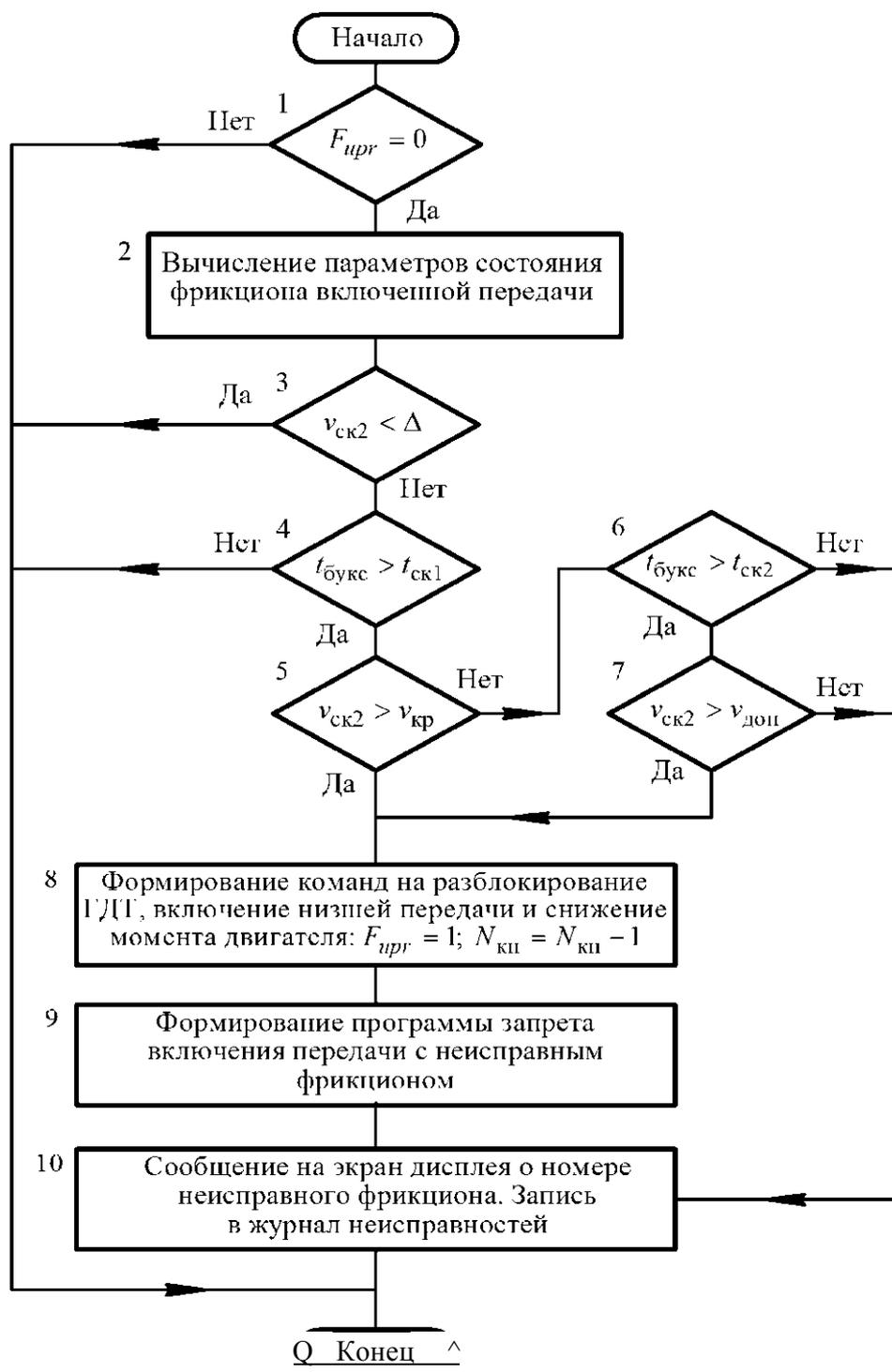


Рис. 5. Схема алгоритма защиты фрикциона включаемой передачи от перегрева при пробуксовке

Таким образом, созданная система мониторинга технического состояния механизмов гидромеханической передачи позволяет непрерывно во времени осуществлять контроль процессов их функционирования и предотвращать возможность возникновения аварийных ситуаций, приводящих к поломкам и простоям автомобиля в ремонте. В журнале неисправностей хранится информация обо всех обнаруженных отклонениях параметров процессов функционирования механизмов гидромехани-

ческой передачи, включая электронные компоненты системы автоматического управления, с фиксацией времени возникновения неисправностей, что дает возможность обслуживающему персоналу своевременно принимать соответствующие меры по их устранению. В результате обеспечивается существенное повышение ресурса работы механизмов гидромеханической передачи и эффективности выполнения транспортной работы автомобилем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Мехатронная система автоматического управления ГМП карьерного самосвала / В. П. Тарасик [и др.] // Автомобильная промышленность. - 2010. - № 6. - С. 12-15.
3. **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.
4. **Тарасик, В. П.** Адаптация параметров алгоритма автоматического управления ГМП к параметрам автомобиля / В. П. Тарасик, И. М. Дычкин, А. Н. Егоров // Автомобильная промышленность. - 2006. - № 11. - С. 16-18.

*Статья сдана в редакцию 14 июня 2013 года*

**Владимир Петрович Тарасик**, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-222-25-36-45. E-mail: avto@bru.mogilev.by.

**Николай Николаевич Горбатенко**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-222-25-84-27. E-mail: harb\_60@tut.by.

**Роман Владимирович Плякин**, ассистент, Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-222-41-29-79. E-mail: romanp@tut.by.

**Vladimir Petrovich Tarasik**, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: +375-222-25-36-45. E-mail: avto@bru.mogilev.by.

**Nikolai Nikolayevich Gorbatenko**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: +375-222-25-84-27. E-mail: harb\_60@tut.by.

**Roman Vladimirovich Pliakin**, assistant lecturer, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-222-41-29-79. E-mail: romanp@tut.by.