

**С.И. ЛОМАКА**, канд. тех. наук., **Л.А. РЫЖИХ**, канд. тех. наук.,  
**Д.Н. ЛЕОНТЬЕВ**, аспирант ХНАДУ, **А.А. ЧЕБАН**, аспирант ХНАДУ,  
**А.Н. КРАСЮК**, аспирант ХНАДУ (г. Харьков)

## **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ**

В статті розглянуто гальмівне керування транспортного засобу з погляду теорії автоматичного керування механічними системами, наведено структурну схему системи автоматичного регулювання АБС, класифіковано системи автоматичного регулювання за фазами регулювання гальмівного моменту, класифіковано алгоритми за принципом виконання послідовності логічних операцій структурною логікою блока керування, запропоновано алгоритм керування системою АБС, та представлено результати експериментального дослідження процесу гальмування колеса ЗіЛ-4331 на інерційному стенді ХНАДУ в умовах, які відповідають гальмуванню на поверхні дороги з коефіцієнтом зчеплення  $j = 0.2$  та  $j = 0.25$ .

In article is considered brake governing the wheel transport facilities with standpoint of the system of the autocontrol. The presented system scheme of the automatic regulation ABS. The presented categorization of the systems of the automatic regulation on principle of the regulation of the brake moment. The presented categorization algorithm control on principle of the execution operation electronic controller. The Offered algorithm of control ABS. The presented experimental data braking wheel of vehicle ZiL - 4331 on mechanical stand HNADU in condition of the traction  $j = 0.2$  and  $j = 0.25$ .

**Введение:** В современной научной литературе отсутствует единая трактовка отдельных терминов и определений касающихся дополнительных систем, которыми оборудуется тормозное управление автотранспортного средства, для повышения качества процесса торможения и безопасности дорожного движения. Поэтому в данной статье на основе теоретических и экспериментальных исследований рабочего процесса современной антиблокировочной системы (АБС) используются термины общепринятые в системах автоматического регулирования (САР). Исходя из этого, показан процесс создания алгоритма управления качеством затормаживаемого колеса и его практическая реализация с использованием терминов САР.

**Постановка задачи и пути ее решения:** Все системы автоматического регулирования работают по единому циклу, построенному на принципе изменения выходной величины ( $X(t)$ ) в зависимости от входной ( $Y(t)$ ), поэтому их работа в циклическом режиме является очевидной. Под циклом понимается преобразование входной величины  $Y(t)$  в эквивалентный входной сигнал  $y(t)$ , обработка полученного сигнала и преобразование эквивалентного выходного сигнала  $x(t)$ , исполнительным механизмом САР, в

выходную величину  $x(t)$ , способствующую более эффективному торможению автотранспортного средства. Примером современной САР является широко используемая в тормозном управлении система автоматического регулирования АБС, схема которой приведена на рис. 1.

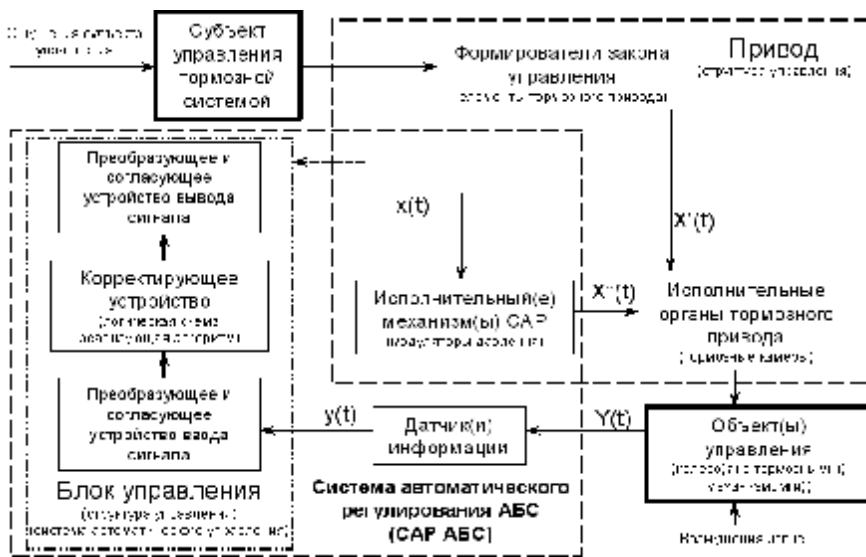


Рисунок 1 – Структурная схема тормозного управления с системой автоматического регулирования АБС.

В современном пневматическом тормозном управлении с системами автоматического регулирования, в качестве исполнительных механизмов САР, применяются пневматические модуляторы, реализующие рабочий процесс с использованием двух или трех фаз (первая фаза - наполнение, вторая фаза - опорожнение и третья фаза - выдержка). Не зависимо от типа современной системы автоматического регулирования, управление исполнительными механизмами САР (модуляторами давления), осуществляется автоматической системой управления (блоком управления). Блок управления преобразует и согласует ввод сигнала  $y(t)$ , затем обрабатывает его по заранее заданному алгоритму и преобразует в согласующем устройстве полученный результат в выходной сигнал  $x(t)$ , который обеспечивает качественное управление механизмами САР. В свою очередь механизмы САР обеспечивают качественное регулирование процессов происходящих с объектом управления (автомобильным(и) колесом(ами) с тормозным(и) механизмом(ами)). Под качественным регулированием понимается рациональное изменение выходной величины

$x(t)$ , близкое к желаемому («идеальному»), при любых возмущениях извне, воздействующих на объект управления.

Системы автоматического регулирования, реализующие рабочий процесс при использовании двух фаз, «впуск» (+h) и «выпуск» (-h), могут обеспечить работу тормозной системы только в циклическом режиме, что не всегда оправдано с точки зрения использования рабочего тела (воздуха), поскольку последнее имеет определенный ограниченный запас. Такие САР имеют ряд недостатков, из-за которых, не представляется возможным пропорциональное изменение выходной величины  $X(t)$ , в зависимости от входной  $Y(t)$ , так как, на объект управления постоянно оказывают воздействие возмущения извне, хотя многие исследователи предпринимают попытки в создании исполнительных механизмов САР обеспечивающих пропорциональное изменение выходной величины в зависимости от входной.

К таким механизмам САР можно отнести модулятор, с изменяемыми проходными сечениями [1] и модулятор с применением так называемой широтно-импульсной модуляцией [2].

В большинстве современных пневматических тормозных системах нашли применение САР, реализующие рабочий процесс с использованием всех трех фаз [3]. В таких системах имеется фаза выдержки давления, при которой отсутствует какое либо истечение воздуха через впускные и выпускные проходные сечения модуляторов давления (исполнительных механизмов САР). Опорожнение и наполнение исполнительного органа (тормозной камеры) через таких модуляторы осуществляется, при минимальном пневматическом сопротивлении напорной и выпускной части модулятора, а процесс закрытия и открытия впускных и выпускных каналов зависит от быстродействия модулятора.

Длительность фаз наполнения и опорожнения оказывает существенное влияние на процесс регулирования, а, следовательно, на период изменения давления в исполнительном органе. При перерегулировании, в случае длительной фазы наполнения, происходит потеря эффективности при торможении транспортного средства, а в случае опорожнения, снижается время прохождения зоны нечувствительности тормозного механизма, но слишком длинная фаза опорожнения также приводит к потере эффективности торможения. Следует отметить, что фазы наполнения, опорожнения и выдержки, оказывают существенное влияние на процесс блокирования и разблокирования автомобильного колеса, и как следствие влияют на устойчивость и управляемость транспортного средства в тормозном режиме.

Работа САР в значительной степени зависят от алгоритма, используемого для управления пневматическими модуляторами давления. Под алгоритмом понимается последовательность действий совершаемых программой заложенной в электронный блок управления, при изменении

входного сигнала  $y(t)$ , для создания на выходе из блока управления выходного сигнала  $x(t)$ , подаваемого на исполнительные механизмы САУ. Таким образом, одним из определяющих факторов при проектировании и создании систем автоматического регулирования, а также при написании программы описывающей алгоритм работы блока управления в случае изменения входного сигнала, является выбранный разработчиком закон управления фазами наполнения, выдержки и опорожнения.

В современных системах автоматического регулирования, при реализации алгоритмов в виде логических схем, применим, так называемый, дискретный способ управления исполнительными механизмами САУ. При затормаживании колеса, полученный с датчика частоты вращения колеса входная величина  $Y(t)$ , преобразуется во входной сигнал, в виде временного интервал  $t_i$ , который будет меньше последующего  $t_{i+1}$ , и чем больше последующий, тем интенсивнее останавливается колесо.

Для измерения входной величины  $Y(t)$  применяются различные датчики [4] которые способны ее измерять только при наличии импульсного колеса (кодового колеса). Датчиком входная величина преобразуется во входной сигнал, который по заданному алгоритму в блоке управления (Рис.1) определяет пороговую величину. Пороговая величина, например ускорение, может быть определена из выражения (1) [5], где  $S$  это расстояние между двумя зубьями импульсного колеса:

$$a = \frac{2 \cdot S \cdot (t_{i+1} - t_i)}{t_i \cdot t_{i+1} \cdot (t_i + t_{i+1})} \quad (1)$$

Если предположить, что все расстояния между зубьями импульсного колеса равны (зависит от технологии изготовления и производства кодового колеса):

$$S = \frac{2 \cdot p \cdot r_{имп}^{кол}}{N} \quad (2)$$

где  $r_{имп}^{кол}$  - радиус импульсного колеса, м;

$N$  - количество зубьев импульсного колеса.

А величина линейного ускорения равна:

$$a = \frac{dw^{\pm}}{dt} \cdot r_{имп}^{кол} \quad (3)$$

Окончательно запишем уравнение (1) с учетом уравнений (2) и (3) в виде:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{4 \cdot p \cdot (t_{i+1} - t_i)}{N \cdot t_{i+1} \cdot t_i \cdot (t_i + t_{i+1})} \quad (4)$$

В процессе торможения рассчитанное значение  $\frac{dw^-}{dt}$  необходимо сравнивать с пороговым значением  $\frac{dw_{nop}^-}{dt}$ . При условии  $\frac{dw^-}{dt} \geq \frac{dw_{nop}^-}{dt}$  колесо необходимо растормаживать.

При разблокировании колеса, временной интервал  $t_i$  будет больше временного интервала  $t_{i+1}$  и если предположить, что колесо будет ускоряться равномерно, то аналогично предыдущим рассуждениям, получим выражение положительного ускорения:

$$\frac{dw^+}{dt} = \frac{4 \cdot p \cdot (t_i - t_{i+1})}{N \cdot t_{i+1} \cdot t_i \cdot (t_i + t_{i+1})} \quad (5)$$

Текущее значение положительного ускорения  $\frac{dw^+}{dt}$  необходимо сравнивать с пороговым  $\frac{dw_{nop}^+}{dt}$ , по достижении которого необходимо подача команды на модулятор АБС для повторного затормаживания колеса.

Пороговая величина может быть определена из соотношения:

$$\hat{E} = \frac{dw_{nop}^+}{dt} = \frac{a_{nop}^+}{r_{eff}} \quad (6)$$

где  $\hat{a}_{nop}$  - пороговое линейное замедление колеса для транспортного средства;

При такой организации определения величин углового ускорения необходимо иметь информацию как минимум двух временных интервалов (входных сигналов  $y(t)$ ) для выдачи выходного сигнала  $x(t)$ , соответствующего одной из трех фаз исполнительного механизма САР (модулятора давления). Используя данный принцип получения пороговых и граничных величин можно построить адаптивный или последовательный алгоритмы управления фазами системы автоматического регулирования приводного усилия в тормозном режиме для обеспечения эффективного качения колеса без блокирования на пределе сцепных свойств.

Представим примерный алгоритм, заложенный в электронный блок управления САР АБС, в виде блок-схемы представленной на рис. 2.

Система автоматического регулирования, по своей структуре, должна иметь так называемое «Задающее устройство» [6], которое реализовано в виде проверки наличия стоп-сигнала на блок-схеме алгоритма работы САР. Если такая проверка будет не предусмотрена, то электронный блок управления САР будет постоянно обрабатывать входной сигнал и выдавать выходной сигнал, бесполезно управляя модуляторами давления, даже в тех случаях, когда управление не должно осуществляться. Таким образом, благодаря «Задающему устройству», программа, заложенная в блок управления, будет функционировать, только по сигналу водителя,

активизируя выполнение логической последовательности действий описывающих алгоритм работы системы автоматического регулирования в тормозном режиме.

После активизации программы, заложенной в блок управления САР, необходимо выполнить последовательную проверку условий соответствующих режиму затормаживания и растормаживания автомобильного колеса, как показано на блок-схеме алгоритма работы САР. Выполнение, какого либо условия должно сопровождаться незамедлительной реакцией исполнительного механизма САР, для изменения проходных сечений в соответствии с фазами регулирования, для достижения максимальной эффективности затормаживания транспортного средства в целом.

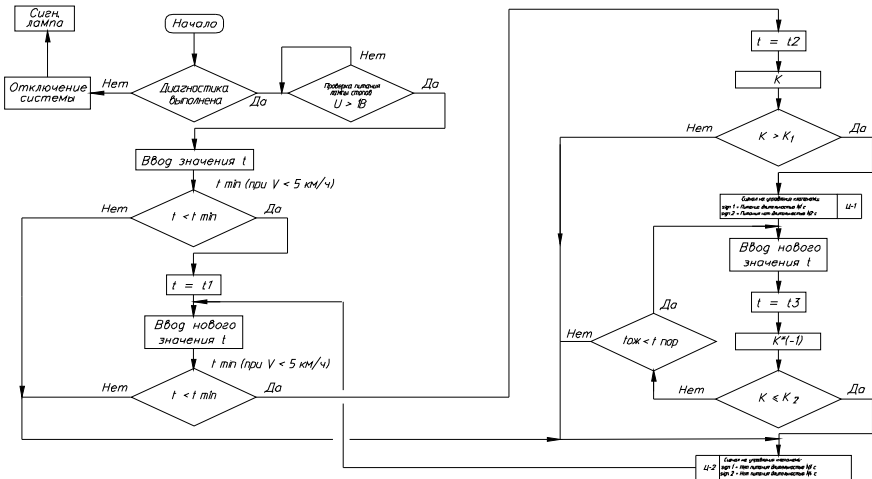


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма работы системы автоматического регулирования тормозного усилия.

Поскольку в процессе выполнения логических операций, описывающих алгоритм работы, может произойти сбой в цикле растормаживания колеса из-за особенностей получения входного сигнала с датчика частоты вращения  $y(t)$  (при скорости 5 км/ч возможно отсутствие сигнала), то необходимо предусмотреть принудительный переход из цикла растормаживания в цикл затормаживания. Такой переход, возможно, осуществить вводом искусственного времени ожидания ( $t_{ож}$ ) выполнения цикла растормаживания, в соответствии с приведенной блок-схемой на рис. 2.

На основе представленной блок-схемы алгоритма возможно создание двух типов систем автоматического регулирования АБС: с прерыванием фаз регулирования и последовательным выполнением фаз регулирования в соответствии с циклом выполнения логической последовательности,

реализованной в блоке управления САР. Отличие таких типов САР заключается в структурной логике, то есть, при последовательном выполнении логических операций, соответствующих фазам регулирования, блок ожидает выполнения выходного сигнала  $x(t)$ , независимо от полученного входного сигнала  $y(t)$ , а при САР с прерыванием фаз регулирования, происходит незамедлительное прерывание выходного сигнала  $x(t)$ , если входная величина  $y(t)$ , полученная от объекта управления изменилась вследствие воздействия возмущений извне. Последние САР АБС обладают адаптивными свойствами, поскольку не зависимо от воздействия внешних возмущений, способны обеспечить движение объекта управления (колеса) на пределе сцепных возможностей.

Примером реализации САР АБС с последовательным выполнением фаз регулирования может служить система управления немецкой фирмы «KNORR-BREMSE», работа которого приведена на рис. 3, полученной в результате дорожных испытаний на автобусе МАЗ – 256 с модуляторами производства НПП «РУП» (Белоруссия). На осциллограмме приведены следующие обозначения:

- $F_{\text{пед}}$  – усилие на педали тормоза, кг·м;
- $P_1$  и  $P_2$  – давления в передних тормозных камерах тип 16, кПа;
- $P_3$  и  $P_4$  – давления в задних тормозных камерах тип 16, кПа;
- $V$  – линейная скорость 5-го колеса, м/с;
- $t$  – время торможение автобуса, с;

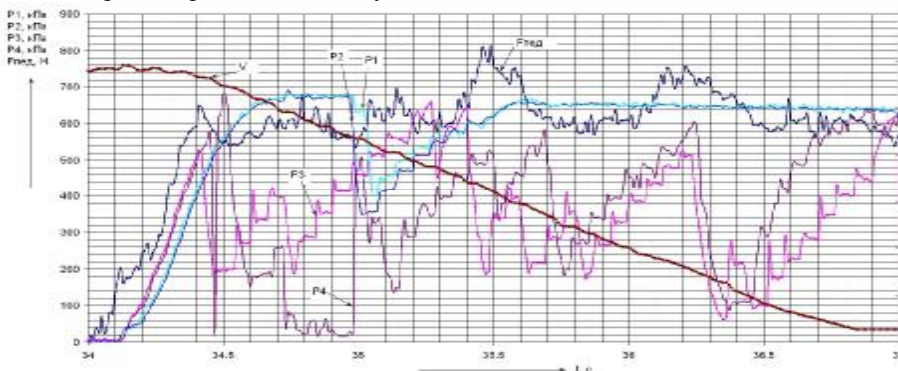


Рисунок 3 – Экспериментальная осциллограмма торможения грузового автобуса МАЗ – 256 с блоком управления АБС «KNORR-BREMSE» и модуляторами производства НПП «РУП» (Белоруссия).

Программа, реализующая алгоритм работы САР АБС с прерыванием фаз регулирования, была реализована в логической схеме электронного блока, разработанного на кафедре автомобилей ХНАДУ, для управления электропневматическим модуляторами фирмы KNORR-BREMSE. Результаты

испытания в стендовых условиях показали, что САР с прерыванием фаз регулирования, обеспечивает качение колеса, с достаточно высокой эффективностью на грани блокирования при изменении сцепных свойств, о чем свидетельствуют полученные экспериментальные осциллограммы представленные на рис. 4 и рис. 5.

Осциллограммы на рисунке 4 и рисунке 5 отличаются тем, что на рисунке 4, в стендовых условиях при качении колеса по поверхности бегового барабана между шиной и барабаном реализовывалась тормозная сила, соответствующая условиям сцепления  $j_{cp} = \frac{V_H - V_K}{t_K - t_H} = 0.2$ , которая равна

тормозной силе на пределе блокирования колеса (с отключенной САР АБС), при установившемся давления в тормозной камере 240 кПа. Повышение давления выше 240 кПа, при выключенной САР АБС, приводило к блокированию колеса, что является отрицательным фактором с точки зрения управляемости.

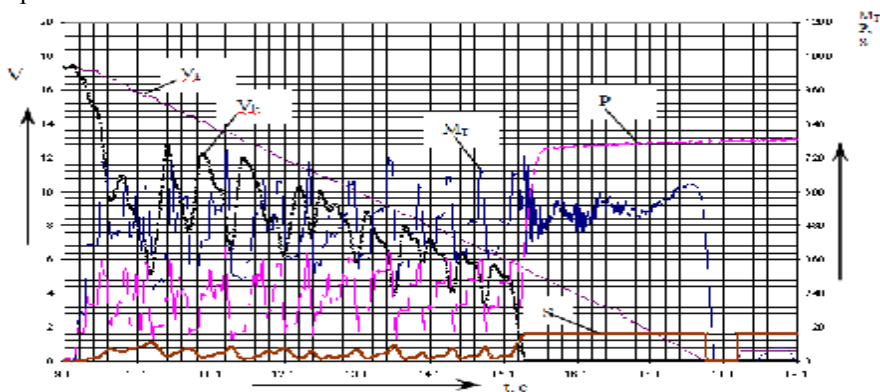


Рисунок 4 – Экспериментальная осциллограмма качения колеса автомобиля ЗиЛ–4331 при работе модулятора KNORR-BREMSE управляемого разработанной программой реализующей алгоритм работы АБС, с прерыванием фаз регулирования ( $M_t$  – тормозной момент, кг·м;  $P$  – давление в тормозной камере тип 20, кПа;  $V_k$  и  $V_b$  – соответственно линейная скорость колеса и инерционного барабана, м/с;  $S$  – проскальзывание затормаживаемого колеса, %).

Следует отметить, что работа САР АБС не ухудшает параметров торможения колеса, по сравнению с торможением на пределе блокирования при постоянной нагрузке на колесо и начальной скорости торможения, но приводит к незначительному расходу воздуха из-за частого срабатывания системы автоматического регулирования АБС. В камере тип 20 при работе САР наблюдался заброс по давлению до 360 кПа, который приводил к мгновенному возрастанию тормозного момента до 700 кг·м и, соответственно, к увеличению тормозной силы в пятне контакта шины с опорной поверхностью. При снижении давления в тормозной камере, колесо



разгонялось под действием сил инерции, но продолжало затормаживаться, поскольку давление в камере не снижалось ниже 100 кПа, что позволяло реализовывать тормозной момент свыше 300 кг·м.

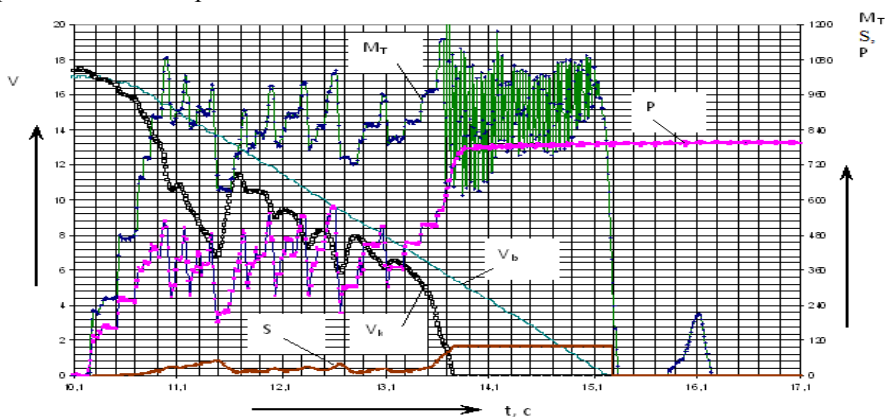


Рисунок 5 – Экспериментальная осциллограмма качения колеса автомобиля ЗиЛ – 4331 при работе модулятора KNORR-BREMSE управляемого разработанной программой реализующей алгоритм работы ABS, с прерыванием фаз регулирования.

На рисунке 5 приведены обозначения такие же, как на рисунке 4, но в отличие от рисунка 4 осциллограмма на рисунке 5 получена при постоянной нагрузке, но большей реализуемой тормозной силе, которая соответствует сцепным свойствам  $j_{cp} = 0.3$ . При затормаживании колеса, без САР ABS, его блокирование наблюдалось при повышении давления в тормозной камере выше 400 кПа. Давление равное 400 кПа позволяло реализовать средний коэффициент сцепления за процесс торможения  $j_{cp} = 0.25$ , который на 17% ниже среднего коэффициента сцепления реализуемого при работе САР ABS. Это означает, что тормозной путь при работе САР ABS снизился с 58,6м до 48,8м.

Предел блокирования для экспериментальных осциллограммах, приведенных на рис. 4 и рис. 5, определялся в соответствии с требованиями Приложения №13 Правил №13 ЕЭК ООН, при постепенном увеличении давления в тормозном приводе, на величину  $\Delta P = 10$  кПа. Реализуемая тормозная сила в пятне контакта между шиной и металлическим беговым барабаном большого инерционного стенда ХНАДУ создавалась специальным прижимным механизмом, который был разработан на кафедре Автомобилей ХНАДУ [7].

Как видно из осциллограмм, приведенных на рис. 4 и рис. 5, с увеличением среднего реализуемого коэффициента сцепления уменьшается количество срабатываний САР ABS с 15 до 7, а также уменьшается процесс торможения с 9с до 5с, что приводит к снижению тормозного пути на 33%.

Из осциллограмм также видно, что разработанная система автоматического регулирования, с прерыванием фаз регулирования, способна адаптироваться при изменении сцепных свойств шины с опорной поверхностью, то есть независимо от изменения сцепных свойств успевает реагировать на блокирование колеса и устранять это не желаемое явление.

**Выводы:** Экспериментальные исследования различных электронных блоков управления АБС показали, что современные системы автоматического регулирования могут быть построены на различных принципах управления, главной отличительной особенностью каждого принципа, должно быть обеспечение качества процесса торможения не зависимо от изменения дорожной обстановки или действий водителя. Системы автоматического регулирования должны автоматически, не зависимо от водителя, приспосабливаться к любым дорожным условиям и обеспечивать качественный процесс качения колеса на пределе сцепных свойств, при воздействии случайных возмущений извне. Предложенный алгоритм работы САР АБС с прерыванием фаз регулирования, позволяет обеспечить устойчивое качение затормаживаемого автомобильного колеса по опорной поверхности в стендовых условиях и как следствие позволяет реализовать высокую эффективность, не зависимо от изменения нагрузочных, скоростных, сцепных свойств шины или воздействий возмущений извне.

**Список литературы:** 1. Пат. 2314217 Россия, МКИ В60Т 8/36. Модулятор электронной тормозной системы: 2314217 Россия, МКИ В60Т 8/36 *Туренко А.Н., Ломака С.И., Клименко В.И., Богомолов В.А., Рыжих Л.А., Чебан А.А., Мельник С.П., Курчатый Ю.В., Назаренко И.Н., Красюк А.Н.* (Украина). - №200511679/11; Заявл. 19.04.2005; Оpubл. 27.10.2006. – 7с. 2. *Бондаренко А.И.* Вибір способу модуляції тиску в пневматичному модуляторі тиску / *Бондаренко А.И.* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім.Петра Василенка «Механізація сільськогосподарського виробництва». – 2008 – Т1 №75 С.360 – 365. 3. *Туренко А.Н., Ломака С.И., Рыжих Л.А., Чебан А.А., Красюк А.Н., Тишковец С.В.* Особенности конструкции пневматического модулятора АБС с электронным управлением // Вестник ХНАДУ № 37 2007 39-43 с. 4. *Рыжих Л. А., Чебан А.А., Тишковец С.В., Красюк А.Н.* Анализ датчиков угловой скорости колес автотранспортных средств // Автомобильный транспорт Сборник научных трудов выпуск №21 2007 7-12с. 5. *Клименко В.И., Рыжих Л.А., Красюк А.Н., Леонтьев Д.Н.* «Современные АБС и реализация их алгоритмов работы» Научный рецензируемый журнал «Известия МГТУ «МАМИ»» №1(7), Россия, - 2009г 6. *Пресекин В.Л., Белоусов А.И.* «Автоматическое управление механическими системами» // Новосибирск – 2002 – 49 с. 7. *Алекса Н.Н.* «Исследование влияния основных параметров модулятора давления в пневмоприводе тормозов на эффективность торможения автомобиля с противоблокировочным устройством» - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Харьков – 1978 год, 159с.

*Поступила в редколлегию 01.12.2009*