

УДК 629.03

ЛЕ ВАН НГИА, магистр техн. наук

аспирант кафедры «Автомобили»

E-mail: nghiaminsk@gmail.com

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 13.04.2018.

УПРАВЛЕНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ МОДУЛЯТОРОМ АБС ПРИ ТРОГАНИИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ С МЕСТА НА ПОДЪЕМЕ БЕЗ ОТКАТА В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ СИЛОВОГО АГРЕГАТА

В статье приводится принципиальная схема мехатронной системы управления грузовым автомобилем с функцией трогания с места на подъеме без отката, также описывается стратегия управления пневматическим модулятором АБС в роли системы помощи трогания на подъеме в автоматическом режиме работы силового агрегата. Дается описание разработанной имитационной модели пневматического модулятора АБС в программном пакете AMESim, позволяющей отработать алгоритм управления давлением в тормозной камере и осуществляющей оценку работоспособности предполагаемой стратегии управления. Представлены осциллограмма от полунатурного эксперимента процесса управления давлением в тормозной камере при трогании грузового автомобиля с места на подъеме в автоматическом режиме работы силового агрегата и результаты имитационного моделирования. Приведен сравнительный анализ по оценке работоспособности предложенной стратегии управления и адекватности разработанной имитационной модели.

Ключевые слова: пневматический модулятор, ВИМ-управление, трогание автомобиля на подъеме, АБС, моделирование, мехатронная система управления, грузовой автомобиль

Введение. Процесс управления грузового автомобиля, оборудованного механической трансмиссией, довольно сложный и предъявляет к водителю повышенные квалификационные требования. При трогании автомобиля или переключении передач в механической трансмиссии водитель одновременно должен управлять педалью сцепления, рычагом переключения передач и демультипликатором или делителем. При этом в процессе работы у водителя возникают серьезные психофизические нагрузки, что оказывает влияние на безопасность движения. Одной из весомых операций процесса управления автомобилем является трогание с места на подъеме. Поэтому задача автоматизации системы управления автомобилем с функцией трогания с места на подъеме является актуальной и на мировом рынке. Такие производители в области автомобилестроения как Eaton, ZF, Mercedes, Volvo, Iveco уже наладили серийные производства основных силовых агрегатов с разными уровнями автоматизации, в том числе с автоматизацией процесса трогания автомобиля с места на подъеме. Одной из важных задач при этом является организация процесса выдержки автомобиля на подъеме без отката. В данной статье предлагается решение данной задачи путем управления модулятором АБС в автоматическом режиме работы силового агрегата. Преимущества такого способа перед решениями,

предлагаемыми известными автопроизводителями [1–3], заключаются в следующем:

- не требует установки дополнительных сложных элементов или систем за счет использования существующих компонентов на борту автомобиля;
- позволяет получить высококачественный процесс управления давлением в тормозной камере и, следовательно, развиваемым тормозным моментом на колесах. При этом уменьшается динамическая нагруженность элементов трансмиссии за счет согласования роста крутящего момента трансмиссии и уменьшения развиваемого тормозного момента на колесах.

Мехатронная система управления грузовым автомобилем. Объектом исследования является пневматический модулятор ЭПМ-1 ОАО «Экран» (Беларусь), установленный на 20-тонном грузовом автомобиле КамАЗ 5320 с автоматизированной системой управления силовым агрегатом. Представленная на рисунке 1 мехатронная система управления автомобилем позволяет осуществлять электронное управление топливоподачей дизельного двигателя, моторным тормозом, фрикционным сухим сцеплением, коробкой передач (КП), дополнительной КП и пневматическим модулятором [4].

Трогание автомобиля с места на подъеме без отката происходит следующим образом: нажимая

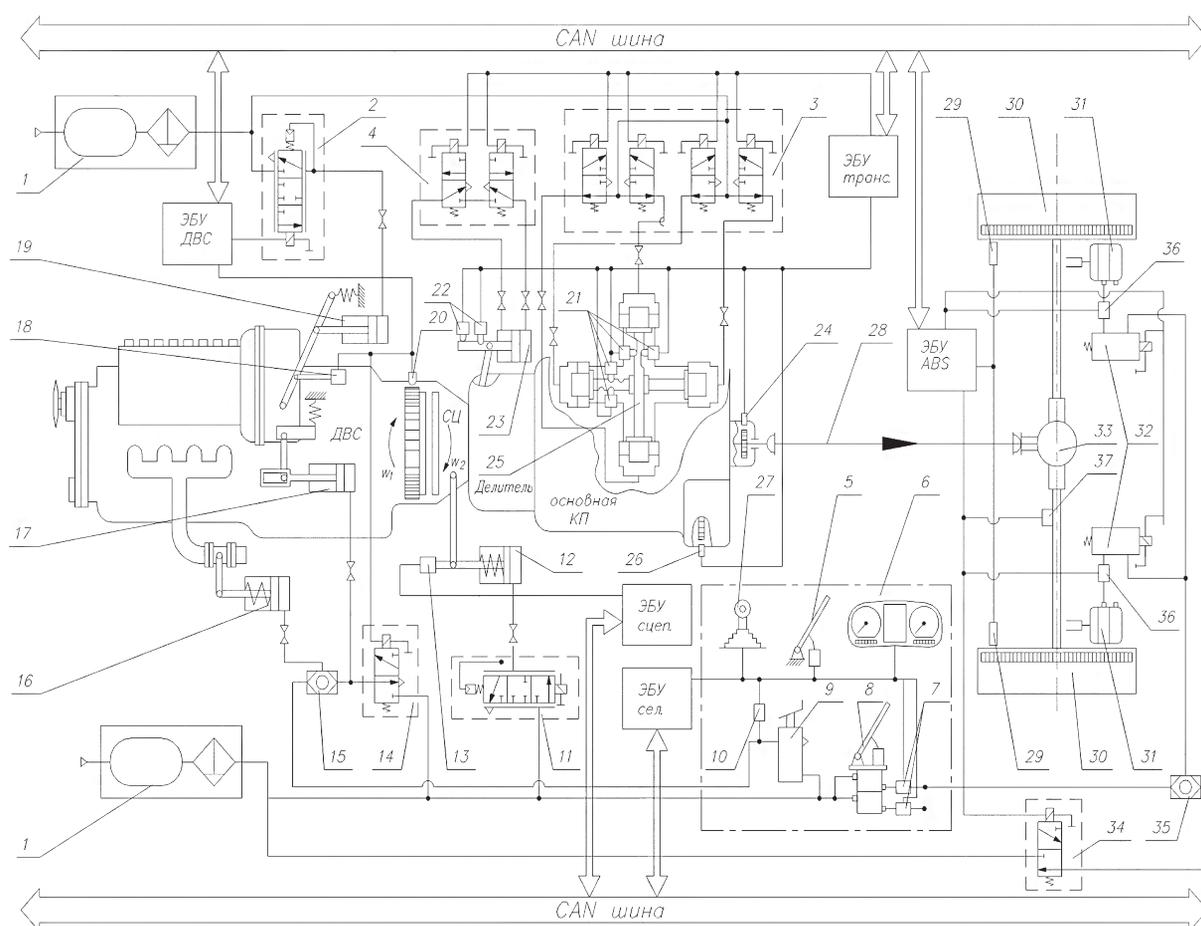


Рисунок 1 — Принципиальная схема мехатронной системы управления грузового автомобиля [1]: 1 — питающая часть пневмопривода; 2, 11 — ПЭМК управления топливоподачей ДВС и сцеплением соответственно; 3 — блок ЭМК управления исполнительным механизмом КП; 4 — блок ЭМК управления делителем; 5 — педаль акселератора с датчиком положения; 6 — органы управления и панель приборов; 7, 10, 36 — датчики давления; 8 — педаль тормоза с двухсекционным тормозным краном; 9 — клапан останова двигателя; 12, 16, 17, 19, 23, 25 — исполнительный механизм сцепления, моторного тормоза, выключения подачи топлива, рычага регулятора ТНВД и делителя соответственно; 13, 18, 22 — датчики перемещения; 14 — ЭМК управления моторным тормозом и выключением подачи топлива; 15, 35 — двухмагистральный клапан; 20, 24, 26, 29 — датчики частоты вращения; 21 — концевые выключатели; 25 — исполнительный механизм КП; 27 — селектор режимов; 28 — карданная передача; 30 — ведущие колеса; 31 — тормозная камера; 32 — пневматический модулятор; 33 — ведущий мост; 34 — ЭМК тормозной системы; 37 — датчик уклона дороги

на тормозную педаль, водитель сначала выбирает режим движения при трогании. После перевода селектора 27 (см. рисунок 1) режимов движения в положение D (drive) оператор воздействует на педаль 5 акселератора, освободив тормозную педаль. Сразу после получения информации о нулевом положении тормозной педали, нулевой скорости автомобиля и положительном угле наклона дороги ЭБУ ABS посылает управляющий сигнал на электромагнитный клапан (ЭМК) 34 для подачи воздуха в тормозные камеры, предотвратив движение автомобиля назад. Одновременно осуществляются следующие действия:

- ЭБУ трансмиссии формирует сигнал на пропорциональный электромагнитный клапан (ПЭМК) для выключения сцепления, после чего в определенной последовательности управляет блоком ЭМК 3 исполнительного механизма 25 КП, а также электромагнитными клапанами 4 переключения ступеней делителя, осуществляя выбор и включение требуемой передачи;

- ЭБУ двигателем подает широтно-импульсный сигнал (ШИМ-сигнал) определенной скважности на ПЭМК 2 управления топливоподачей, обеспечивая тем самым определенную частоту вращения коленвала на момент включения передачи трогания;

- ЭБУ ABS подает сигнал на модуляторы 32 для снижения давления в тормозных камерах 31 до требуемого значения по сигналу датчика угла наклона дороги 37.

После включения требуемой передачи, установки нужного оборота ДВС и нужного давления в тормозных камерах ЭБУ трансмиссией генерирует ШИМ-сигнал на обмотки пропорционального электромагнитного клапана 11, увеличивая от цикла к циклу скважность сигнала на определенную величину, зависящую от скорости перемещения педали газа. Параллельно ЭБУ ABS подает управляющий сигнал на модуляторы для сброса давления в тормозной камере по ходу увеличения передаваемого крутящего момента сцеплением.

Принцип работы модулятора АБС при ассистенте системы трогания. Конструкция и принцип работы пневматического модулятора описаны в литературных источниках [5, 6]. В стационарном режиме работы управление пилотными клапанами модулятора АБС осуществляется на основе низкочастотного модулированного широтно-импульсного сигнала с определенным коэффициентом заполнения площади [7]. Причем частота следования импульсов варьируется от 2..3 до 5..8 Гц в зависимости от типа тормозного механизма [8].

В случае, если модулятор АБС используется в качестве системы помощи трогания с места на подъеме давление в тормозных камерах, а, следовательно, и развиваемый колесными механизмами тормозной момент для удержания автомобиля на подъеме, будут непрерывно уменьшаться до минимума за определенный интервал времени и по определенному закону, характер которого будет зависеть от фактического значения крутящего момента двигателя, передаваемого фрикционным сцеплением в трансмиссию в процессе трогания с места. Для обеспечения заданного закона уменьшения тормозного момента ЭБУ АБС посылает управляющий сигнал с необходимым временем открытия и закрытия на второй электромагнитный клапан (пилотный клапан 2), при задержании высокого уровня напряжения — на первый электромагнитный клапан (пилотный клапан 1) [6, с. 167]. При этом управление пилотными клапанами модулятора АБС может осуществляться на основе низкочастотного модулированного временно-импульсного сигнала (ВИМ-сигнала), в том числе с индивидуальной настройкой параметров [9].

Стратегия управления ЭМК модулятора. ШИМ-управление. При управлении пилотными клапанами модулятора в процессе блокировки колеса используются, как правило, низкочастотные модулированные широтно-импульсные сигналы. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) (англ. pulse-width modulation или PWM) — это импульсный сигнал, с помощью которого можно задать определенный уровень мощности на нагрузке (напряжение, ток) и управлять им в широких пределах с помощью транзисторных ключей. Так как на транзисторах рассеивается минимальная мощность и только в момент переключения, то обеспечивается высокий КПД.

На одном периоде ШИМ укладывается один единичный импульс шириной T_1 и один нулевой импульс шириной T_0 (рисунок 2). При этом период ШИМ $T = T_1 + T_0 = \text{const}$, и, следовательно, частота следования импульсов $\nu = 1/T$ также является постоянной величиной. Коэффициент заполнения q площади ШИМ-сигнала есть эквивалент амплитуды аналогового сигнала [9]:

$$q = T_1 / T, 0 \leq q \leq 1. \quad (1)$$

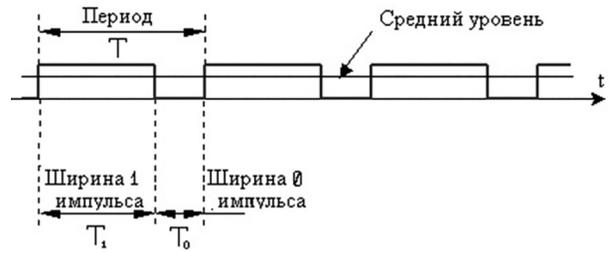


Рисунок 2 — Временная диаграмма ШИМ [6]

Изменением длительности импульса T_1 можно регулировать средний уровень напряжения. Подав цифровой ШИМ-сигнал, можно получить аналоговое напряжение U с любой амплитудой $U = U_m \cdot q$ в диапазоне от 0 до U_m .

Чем выше частота следования ШИМ, тем более гладким будет аналоговый сигнал, но увеличение частоты импульсов ведет к тому, что растут потери мощности на ключах, снижается КПД. В мехатронных системах управления силовым агрегатом автомобиля при управлении прецизионными пропорциональными пневматическими или гидравлическими электромагнитными клапанами обычно используется частота следования импульсов от 100 до 400 Гц. При этом следует учитывать, что с уменьшением частоты ШИМ-сигнала увеличивается диапазон управления исполнительными механизмами, а при слишком низкой частоте возможна периодическая неустойчивость работы всей системы регулирования.

В связи с развитием микропроцессорной техники практически во всех современных смарт-контроллерах имеются встроенные средства формирования одного или более независимых каналов ШИМ, гибкие возможности конфигурации которых позволяют использовать импульсные сигналы в разнообразных схемах электронного управления и автоматики.

ЧИМ-управление. Результаты полунатурного эксперимента, проведенного на кафедре «Автомобили» БНТУ показали, что в процессе трогания с места на подъеме использование широтно-импульсной модуляции при управлении модулятором АБС неэффективно, даже при низкочастотном следовании сигналов невозможно получить требуемый закон уменьшения тормозного момента. Сброс давления с тормозных камер происходит либо практически мгновенно за несколько периодов ШИМ, либо ступенчато с глубоким запаздыванием по отношению к передаваемому в трансмиссию крутящему моменту. Поэтому при трогании с места на подъеме без отката может быть использована стратегия частотно-импульсной модуляции (ЧИМ-сигнал), позволяющая при известном минимальном времени срабатывания пилотного клапана модулятора получить требуемый закон уменьшения давления за счет изменения частоты следования импульсов (рисунок 3) [9].

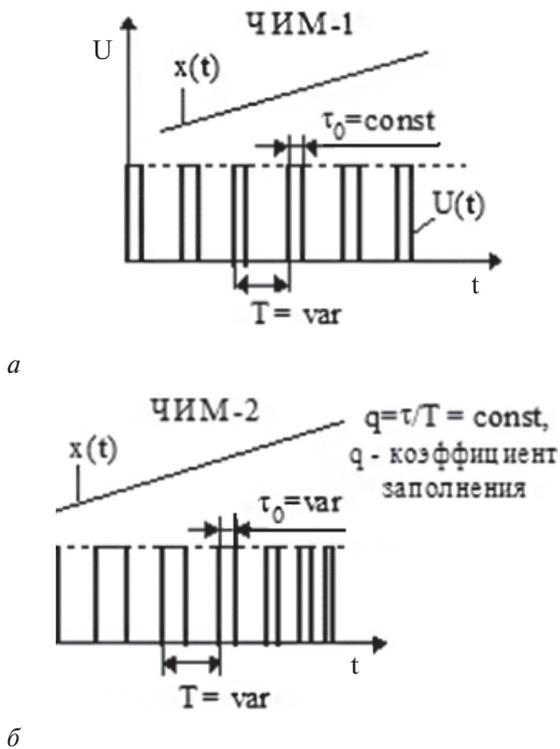


Рисунок 3 — Модулированный частотно-импульсный сигнал [6]: $x(t)$ — информационный сигнал; $U(t)$ — напряжение, В; τ_0 — время «единичного» импульса, мс; T — период следования импульсов, с; t — текущее время, мс

Однако для использования данного типа сигнала смарт-контроллер должен иметь соответствующие технические возможности, и, кроме того, при использовании стандартного функционального блока можно получить убывание частоты импульсов только по определенному закону, например, геометрической регрессии, т. е. получить определенный закон уменьшения тормозного момента, лишь частично соответствующий закону нарастания крутящего момента в трансмиссии.

ВИМ-управление. Наиболее перспективным направлением в управлении пилотными клапанами модулятора ABS как ассистент при трогании с места на подъеме без отката является использование стратегии низкочастотной временно-импульсной модуляции (ВИМ), позволяющей за счет индивидуально настраиваемых на программном уровне параметров ВИМ-сигнала получать требуемый закон уменьшения давления в тормозных камерах привода колесных тормозных механизмов. В данной работе приведена осциллограмма по управлению фазой сброса давления в тормозной камере при трогании грузового автомобиля с места на подъеме без отката с использованием стратегии временно-импульсной модуляции.

Принцип управления давлением в тормозной камере при трогания автомобиля с места на подъеме. Процесс управления пневматическим модулятором ABS при ассистенте системы тро-

гания автомобиля с места на подъеме без отката разделяется на два этапа:

- первый этап: сброс давления в тормозной камере от номинального (номинальное давление в тормозной системе) до требуемого значения по сопротивлению наклону дороги. Для достижения данной цели рассчитывается время открытия второго пилотного клапана модулятора по методике, приведенной в работе [10];

- второй этап: сброс давления в тормозной камере от требуемого значения до атмосферного уровня по определенному закону в зависимости от темпа включения сцепления путем перебора времени открытия и закрытия второго пилотного клапана модулятора.

В зависимости от желаемого водителем темпа трогания автомобиля, определяющегося по скорости нажатия педали «газа» ЭБУ трансмиссией, предварительно рассчитывает темп включения сцепления и, следовательно, темп роста крутящего момента в трансмиссии [11]. Потом по величине угла наклона дороги и массы автомобиля, определяется время нарастания $t_{рас}$ крутящего момента до значения $M_{под} - M_{\psi}$ (2). За это время тормозной момент (или давление в тормозной камере) должен сброситься от требуемого значения до нуля по ходу увеличения крутящего момента в трансмиссии.

Условие безотказного движения автомобиля назад описывается неравенством:

$$\begin{aligned} M_{под} - M_{\psi} - M_{тран} - M_{тор} &\leq 0; \\ M_{под} &= G_{\phi} \cdot \sin \alpha \cdot r_0; \quad M_{\psi} = f \cdot G_a \cdot r_0; \\ M_{тран} &= f(\tau); \quad M_{тор} = f(p_{кам}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $M_{под}$, M_{ψ} — моменты сопротивления подъему и качению соответственно; $M_{тран}$ — крутящий

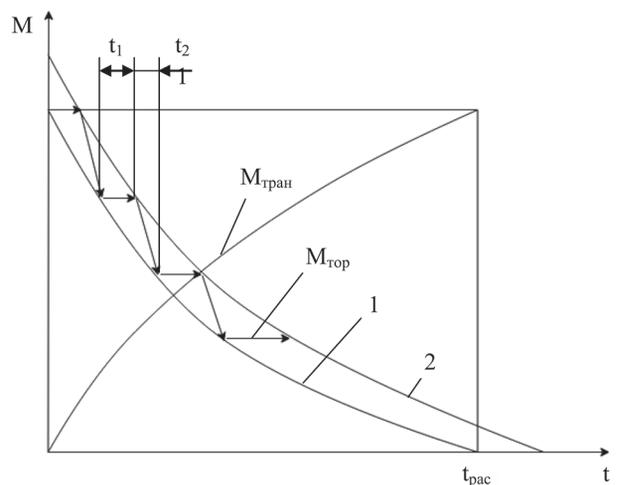


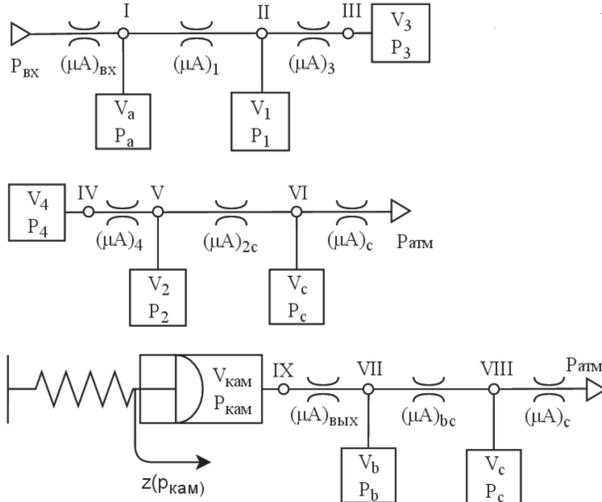
Рисунок 4 — Принцип регулирования тормозного момента при трогании автомобиля с места на подъеме без отката: $M_{тран}$ — крутящий момент в трансмиссии; $M_{тор}$ — тормозной момент; t_1 — время закрытия клапана; t_2 — время открытия клапана; $t_{рас}$ — расчетное время; 1 — идеальный тормозной момент (нижний предел); 2 — верхний предел тормозного момента

момент в трансмиссии; $M_{\text{тор}}$ — тормозной момент в колесах, $\varphi = 0,8$ — коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью; G_{φ} — сцепной вес автомобиля; G_a — полный вес автомобиля; $r_0 = 0,51$ м — радиус качения колес бес скольжения; $f = 0,01$ — коэффициент сопротивления качению; α — угол наклона дороги; τ — предварительный темп включения сцепления; $p_{\text{кам}}$ — давление в тормозной камере.

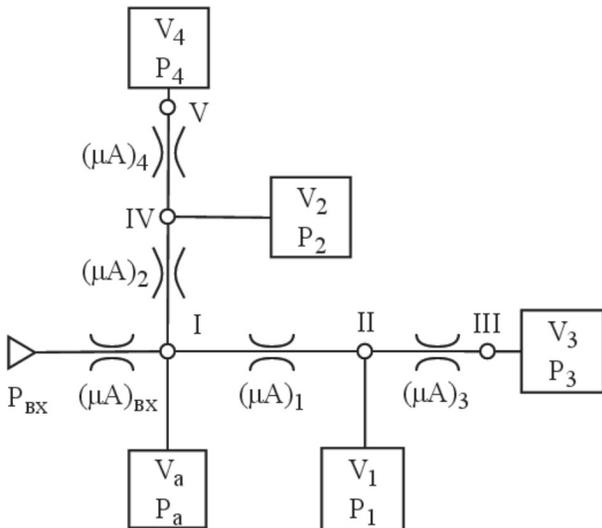
Оптимальное значение тормозного момента $M_{\text{тор}}$ для обеспечения условия безотказного движения автомобиля назад при трогании представляет $M_{\text{под}} - M_{\psi} - M_{\text{тран}}$ и описывается линией 1 на рисунке 4. В связи с изменением характеристик элементов тормозной системы в процессе эксплуатации автомобиля принимается расчетный диапазон регулирования тормозного момента, ограниченный линиями 1 и 2 на рисунке 4.

При этом верхний предел тормозного момента (линия 2) определяется на основании линии 1 с увеличением на величину 10% от нижнего предела.

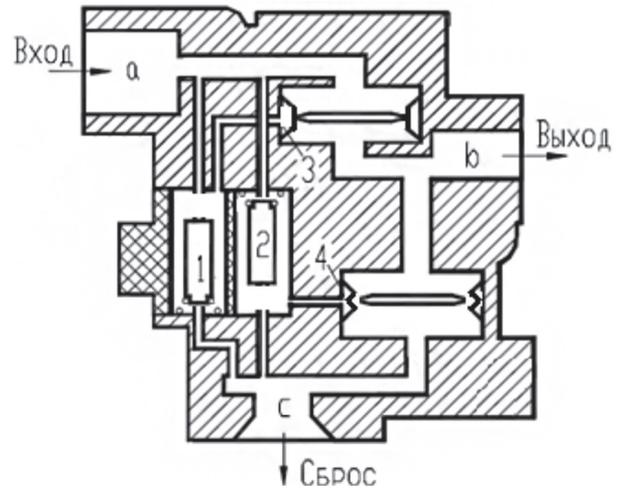
Процесс управления тормозным моментом в колесе, суть которого отражается на рисунке 4, осуществляется при сравнении значения регулируемого параметра с верхним или нижним пределом. Если в данный момент времени тормозной момент находится на нижнем пределе (линия 1), то происходит его удержание на некоторое время, пока он не достигает верхнего предела (линия 2). После этого тормозной момент уменьшается до нижнего предела и процесс регулирования повторяется до нулевого тормозного момента. При применении линейной зависимости тормозного момента в колесе от давления в тормозной камере задача регулирования



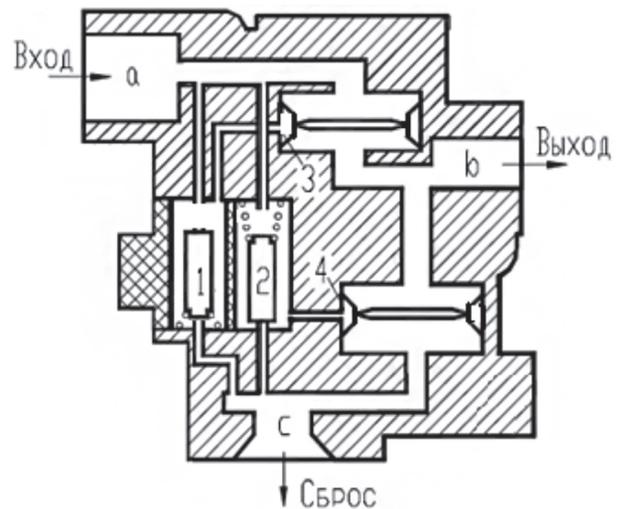
а



б



б



2

Рисунок 5 — Динамическая расчетная схема модулятора АБС [9]: а, б — расчетная и принципиальная схема модулятора при выдержке давления; в, г — расчетная и принципиальная схема модулятора при сбросе давления; $V, P_{\text{кам}}$ — объем и давление в тормозной камере; $z(p_{\text{кам}})$ — зависимость перемещения хода штока от давления в тормозной камере; $V_1, P_1; V_2, P_2; V_3, P_3; V_4, P_4; V_a, P_a; V_b, P_b; V_c, P_c$ — объемы и давления в полостях, соответствующих их обозначениям на принципиальной схеме модулятора АБС; $(\mu A)_1, (\mu A)_2, (\mu A)_3, (\mu A)_4, (\mu A)_{\text{вх}}, (\mu A)_{\text{вых}}, (\mu A)_{\text{bc}}, (\mu A)_{2c}, (\mu A)_c, (\mu A)_{ab}$ — пропускные способности между соответствующими полостями по индексам

тормозного момента превращается в управление давлением в тормозной камере. Фаза удержания или уменьшения тормозного момента на времени t_1 или t_2 соответствует закрытию или открытию второго пилотного клапана модулятора на времени t_1 или t_2 (см. рисунок 4).

Математическое описание модулятора. При трогании автомобиля с места на подъеме без отката тормозной момент должен уменьшаться по определённому закону в зависимости от увеличения передаваемого крутящего момента сцеплением. Для исследования переходного процесса при управлении давлением в тормозной камере составлены принципиальные и расчетные схемы пневматического модулятора [12] (рисунок 5) в соответствии с принятой методикой [13]. Описываемые дифференциальные уравнения данных динамических расчетных схем составляются на основании уравнения баланса мгновенных расходов в узлах расчетных схем и гиперболической газодинамической функции расхода через пневмосопротивление:

- для фазы сброса давления (см. рисунок 5 а) [12];
- для фазы выдержки давления (см. рисунок 5 в) [12].

Численные значения параметров (объемов и пропускных способностей) электромагнитного клапана, пневматического модулятора АБС, исполнительного механизма, тормозного механизма и трубопроводов определены по данным завода-изготовителя. Рабочий объем тормозной камеры определяется по площади диафрагмы и перемещению штока по формуле [14]:

$$V_{\text{кам}} = V_0 + A_{\text{д}} \cdot z, \quad (3)$$

где V_0 — начальный объем тормозной камеры; $A_{\text{д}} = a - b \cdot z$ — площадь диафрагмы (a, b — коэффициенты, зависящие от типоразмера тормозной камеры); z — перемещение штока тормозной камеры.

Моделирование пневматического модулятора АБС в AMESim. При моделировании в AMESim пневматический модулятор представлен в упрощенном виде с двумя электромагнитными клапанами, работающими только на ON/OFF режиме (рисунок 6). Основные параметры клапанов соответствуют параметрам оригиналов ЭПМ-1 ОАО «Экран» [5]. В процессе моделирования возможны следующие допущения:

- воздух принимается как идеальный газ;
- не учитываются все виды трения;
- в процессе управления, температура воздуха во всех узлах одинакова и равна 20 °С;
- отсутствуют утечки воздуха из системы;
- трубопроводы заменяют сосредоточенными пневмосопротивлениями;
- механические воздействия клапанов от электрических управляющих сигналов происходят мгновенно.

Результаты моделирования и экспериментального исследования. Результаты имитационного

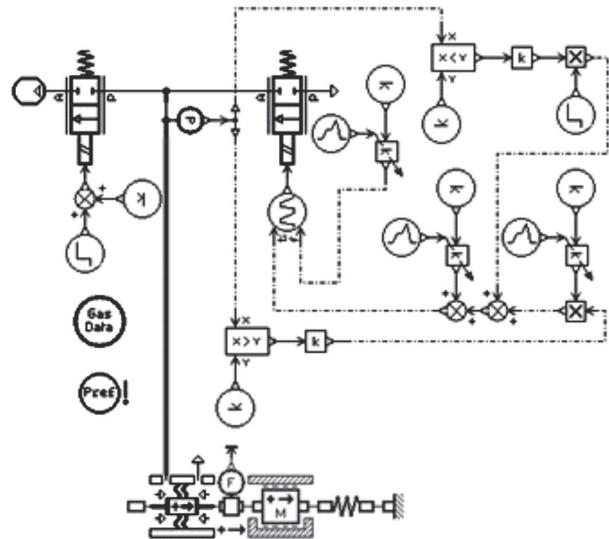


Рисунок 6 — Модель пневматического модулятора ЭПМ-1 ОАО «Экран» в AMESim

моделирования в пакете AMESim и экспериментального исследования процесса модулятором АБС при трогании грузового автомобиля с места на подъеме без отката в автоматическом режиме работы силового агрегата представлены на рисунках 7 и 8. Сопоставление результатов моделирования с осциллограммой реальных процессов, полученных при проведении полунатурного эксперимента, показало погрешность машинного эксперимента менее 7% по величине и характеру изменения давления в тормозной камере, что свидетельствует об адекватности разработанной модели реальному физическому объекту.

В дальнейшем разработанная модель пневматического модулятора будет применима не только для изучения системы помощи трогания

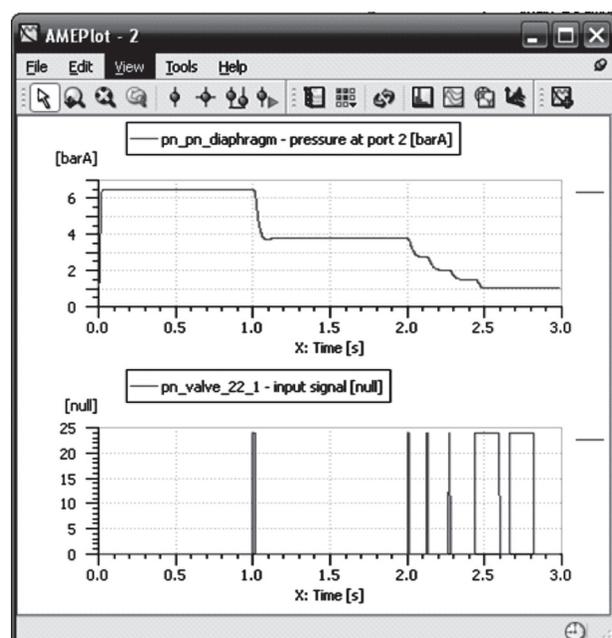


Рисунок 7 — Результаты моделирования пневматического модулятора в AMESim

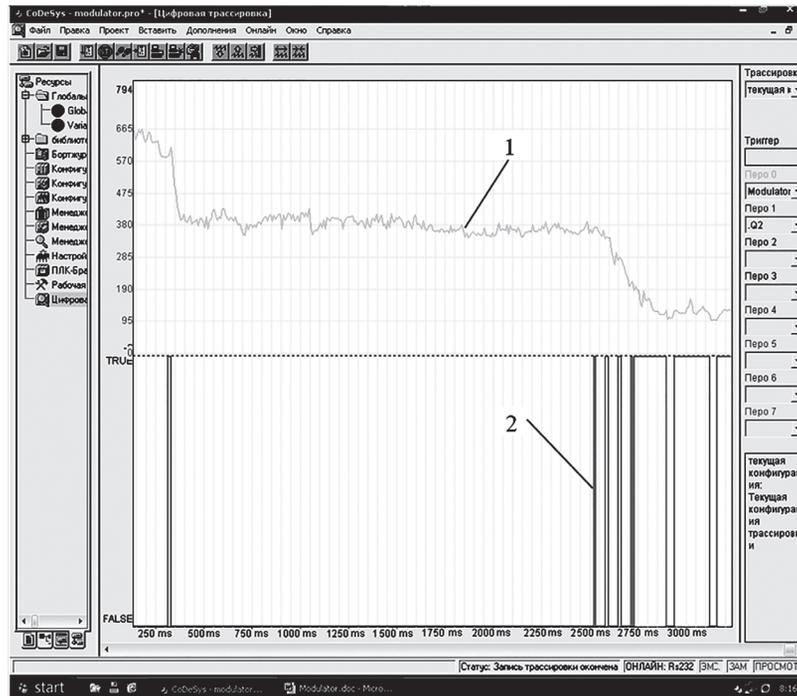


Рисунок 8 — Осциллограмма процесса сброса давления в тормозной камере при использовании ВИМ-стратегии: 1 — давление в тормозной камере, кПа; 2 — ВИМ-сигнал управления пилотным клапаном модулятора АБС

автомобиля с места на подъеме, но и для исследования циклических режимов работы системы АБС. Кроме того, данная имитационная модель может быть использована в качестве субмодели при моделировании мехатронной системы управления автомобилем в целом.

Результаты полунатурного эксперимента подтверждают работоспособность системы помощи трогания автомобиля с места на подъеме без отката при использовании предложенной стратегии и разработанного принципа управления давлением в тормозной камере.

При проведении полунатурного эксперимента было обнаружено, что минимальное время подачи управляющего сигнала на уровне «1» или «0» для открытия или закрытия пилотного клапана модулятора составляет 4 мс и 2 мс соответственно. Эти запаздывания следует учитывать при программировании электронного блока АБС для отработки алгоритма управления модулятора.

Заключение. Разработана имитационная модель пневматического модулятора АБС при ассистенте системы трогания автомобиля с места на подъеме в автоматическом режиме работы силового агрегата на базе AMESim. Сопоставление результатов моделирования с осциллограммой процесса сброса давления в тормозной камере при трогании автомобиля, полученной при проведении полунатурного эксперимента, показало погрешность машинного эксперимента менее 7%, что свидетельствует об адекватности разработанной модели реальному физическому объекту и пригодности модели в дальнейшем исследовании.

Предложенная стратегия и разработанный принцип управления пневматическим модулятором АБС с индивидуальной настройкой ВИМ-сигнала (время и частота открытия пилотных клапанов модулятора) позволяет организовать процесс сброса давления в тормозной камере в зависимости от нужного темпа включения сцепления при трогании автомобиля в автоматическом режиме работы силового агрегата, обеспечивая при этом безотказное движение автомобиля назад и снижая нагрузку элементов трансмиссии.

Список литературы

1. Hill start assist system: pat. US 8078378B2, USA: Int. Cl. G06F 19/00 (2011.01) / Abram McConnell Bradley, Assignee: Volvo Group North America LLC. — Publ. date: 13.12.2011.
2. Pressure-medium-activated brake device of a vehicle having control routines implemented in a brake controller unit, of a hill start assistant function or creep suppression function: pat. US 9193338B2, USA: Int. Cl. B60T 8/175 (2006.01), B60T 7/2 (2006.01) / Andreas Schaefers, Adnan Mustapha, Assignee: Knorr-Bremse Systeme fuer Nutzfahrzeuge GmbH. — Publ. date: 24.10.2015.
3. Foundation brake hill start aide system: pat. US 8649948B2, USA: Int. Cl. G06F 7/00 (2006.01), G06F 7/70 (2006.01) / Hisanori Yanagida, Shoji Ichikawa, Ryoji Mori, Assignee: Honda Motor Co Ltd, Tokyo (JP). — Publ. date: 11.02.2014.
4. Кусяк, В.А. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов / В.А. Кусяк, О.С. Руктепель. — Минск: БНТУ, 2015. — 295 с.
5. Краткие инструкции по техническому обслуживанию и диагностированию систем АБС, АБС/ПБС и ЭСУПП производства ОАО «Экран» [Электронный ресурс] // ОАО «Экран». — Режим доступа: <http://www.ekranbel.com/ru/972/>. — Дата доступа: 10.01.2018.
6. Титаренко, Д.Н. Электронные системы торможения грузовых автомобилей, тягачей и автобусов: уч.-практ. пособие / Д.Н. Титаренко. — СПб: Санкт-Петербургская академ. постдипл. педобразования, 2015. — 189 с.

7. Автушко, В.П. Моделирование и расчет динамики электропневмомодулятора в циклическом режиме работы / В.П. Автушко, М.И. Жилевич // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2002. — № 3–4. — С. 123–130.
8. Третьяк, Д.М. Повышение эффективности тормозных систем автомобилей за счет снижения гистерезисных потерь в дисковых тормозных механизмах: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 — Колесные и гусеничные машины / Д.М. Третьяк. — Минск: БНТУ, 2011. — 280 с.
9. Импульсная модуляция // Студопедия [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://studopedia.ru/13_133878_impulsnaya-modulyatsiya.html. — Дата доступа: 10.01.2018.
10. Method for controlling an automated friction clutch: pat. US 8874340B2 USA, Int. Cl. G06F 7/00, B60W 10/02, F16D 48/06 (2006.01) / Rene Salewski. — Publ. date: 28.10.2014. — 13 p.
11. Le V.N. A research on start-up clutch process control for AMT with Amesim platform / V.N. Le, V.A. Kusyay, T.H. Nguyen // The 2nd National Conference on Mechanical Engineering and Automation, October 7–8, 2016 / Hanoi University of Science and Technology. — Pp. 111–119.
12. Иванов, В.Г. Теоритические основы доэкстремального управления активной безопасностью при торможении автомобиля: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / В.Г. Иванов. — Минск: БНТУ, 2005. — 504 с.
13. Метлюк, Н.Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. / Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко. — М.: Машиностроение, 1980. — 231 с.
14. Метлюк, Н.Ф. Исследование циклического режима работы контура пневматического тормозного привода автомобиля / Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко, П.Н. Кишкевич // Автотракторостроение. Теория и конструирование мобильных машин. — 1980. — Вып. 15. — С. 69–76.

LE VAN NGHIA, Mas. Techn. Sc.

Ph. D. Student of the Department “Automobiles”

E-mail: nghiaminsk@gmail.com

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 13 April 2018.

ABS PNEUMATIC MODULATOR CONTROL FOR THE TRUCK HILL START IN THE AUTOMATIC MODE OF THE POWER UNIT

The paper shows the principle scheme of truck mechatronic control system with hill-hold capability, it also describes control strategy of ABS pneumatic modulator as hill-start system in automatic mode of power unit. Developed simulation model of ABS pneumatic modulator in AMESim allows us to test pressure control algorithm in brake chamber and evaluate the operability of the proposed control strategy. The seminatural experiment oscillogram of the pressure control process in the brake chamber while truck hill starting in automatic mode of the power unit and simulation results are presented. The comparative analysis of the performance evaluation of the offered control strategy and adequacy of the simulation model is also given.

Keywords: pneumatic modulator, PTM-control, hill-start, ABS, simulation, mechatronic control system, truck

References

1. Bradley A.M. Hill start assist system. Patent USA, no. 8078378B2, 2011.
2. Schaefers A., Mustapha A. Pressure-medium-activated brake device of a vehicle having control routines implemented in a brake controller unit, of a hill start assistant function or creep suppression function. Patent USA, no. 9193338B2, 2015.
3. Hisanori Yanagida, Shoji Ichikawa, Ryoji Mori Foundation brake hill start aide system. Patent USA, no. 8649948B2, 2014.
4. Kusyay V.A., Rukteshel O.S. *Proektirovanie avtomatizirovannykh mekhatronnykh sistem upravleniya silovym agregatom gruzovykh avtomobiley i avtopoezdov* [Designing of automated mechatronic control systems for the trucks and road trains power unit]. Minsk, Belorusskiy natsionalnyy tekhnicheskii universitet Publ., 2015. 295 p.
5. *Kratkie instruktsii po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i diagnostirovaniyu sistem ABS, ABS/PBS i ESUPP proizvodstva OAO “Ekran”* [Brief instructions on maintenance and diagnostics of ABS, ABS/TCS systems and electronic system for pneumatic suspender control of OJSC “Ekran” production]. Available at: <http://www.ekranbel.com/ru/972/> (accessed 10 January 2018).
6. Titarenko D.N. *Elektronnyye sistemy tormozheniya gruzovykh avtomobiley, tyagachey i avtobusov: uch.-prakt. posobie* [Electronic braking systems of trucks, tractors and buses: a practical guide]. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskaya akademiya postdiplomnogo pedobrazovaniya Publ., 2015. 189 p.
7. Avtushko V.P., Zhilevich M.I. Modelirovanie i raschet dinamiki elektropnevmodulyatora v tsiklicheskom rezhime raboty [Modeling and calculation of electric-pneumatic modulator dynamics in cyclic mode]. *Vestnik GGTU im. P.O. Sukhogo* [Herald of Sukhoi State Technical University of Gomel], 2002, no. 3–4, pp. 123–130.
8. Tretyak D.M. *Povyshenie effektivnosti tormoznykh sistem avtomobiley za schet snizheniya gisterezisnykh poter v diskovykh tormoznykh mekhanizmkh*. Diss. kand. tekhn. nauk [Efficiency increase of automobiles brake systems by reducing the hysteresis losses in the disk brake mechanisms. Ph. D. Thesis]. Minsk, 2011. 280 p.
9. *Impulsnaya modulyatsiya* [Pulse modulation]. Available at: https://studopedia.ru/13_133878_impulsnaya-modulyatsiya.html (accessed 10 January 2018).
10. Salewski R. *Method for controlling an automated friction clutch*. Patent USA, no. 8874340B2, 2014.
11. Le V.N., Kusyay V.A., Nguyen T.H. A research on start-up clutch process control for AMT with Amesim platform. *Proc. 2nd National Conference on Mechanical Engineering and Automation*, Hanoi, 2016, pp. 111–119.
12. Ivanov V.G. *Teoreticheskie osnovy doekstremalnogo upravleniya aktivnoy bezopasnostyu pri tormozhenii avtomobilya*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Theoretical bases of active safety pre-extreme management when braking. D. Sc. Thesis]. Minsk, 2005. 504 p.
13. Metlyuk N.F., Avtushko V.P. *Dinamika pnevmaticheskikh i gidravlicheskikh privodov avtomobiley* [Dynamics of pneumatic and hydraulic automobiles drives]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 231 p.
14. Metlyuk N.F., Avtushko V.P., Kishkevich P.N. *Issledovanie tsiklicheskogo rezhima raboty kontura pnevmaticheskogo tormoznogo privoda avtomobilya* [Research of a cyclic operation mode of a contour of an automobile pneumatic brake drive]. *Avtotraktorostroenie. Teoriya i konstruirovaniye mobilnykh mashin* [Automotive engineering and tractor industry. Theory and design of mobile machines], Minsk, 1980, no. 15, pp. 69–76.