

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТОРМОЖЕНИЕ-СТОП-НАЧАЛО ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА УКЛОНЕ

Шуклинов С.Н., Губин А.В., ХНАДУ

***Аннотация.** Выполнено имитационное моделирование динамического поведения автомобиля и систем управления его движением. Режимы моделирования отражают замедление автомобиля тормозной системой до полной его остановки на уклоне, удержание автомобиля в неподвижном состоянии тормозной системой и начало его движения при соединении фрикционным сцеплением двигателя и трансмиссии.*

***Ключевые слова:** модель, автомобиль, режим движения, торможение, начало движения, уклон, сопротивление, момент.*

### Введение

При движении транспортного потока в городском режиме на каждые 100 км пробега грузового автомобиля приходится 100 циклов «выключения–включения» сцепления во время остановки и начала его движения. В общем количестве начала движения с места почти 50 % приходится на участки с продольным уклоном, а именно на подъем.

При трогании на подъем, особенно в местах, где крутизна уклона составляет более 5 %, даже у опытных водителей со стажем автомобиль зачастую слегка скатывается назад. А новичок, плохо умеющий работать педалями, рискует скатиться и допустить наезд на автомобиль, стоящий за ним. Ситуация существенно осложняется с увеличением плотности транспортного потока и движения в режиме «пробки» из-за возрастания психологической нагрузки на водителя. Для упрощения управления автомобилем некоторые современные транспортные средства оснащаются автоматическими устройствами помогающими водителю управлять началом движения на подъем.

### Анализ публикаций

Исследованию динамического поведения автомобиля при разгоне и торможении, а также его зависимости от параметров управления уделяется много внимания. Разносторонние и разноплановые исследования процесса трогания транспортных машин в режиме включения и буксования фрикционного сцепления, проведенные коллективом авторов [1], направлены на повышение эффективности и надежности конструкций фрикционных сцеплений. Предложен комплексный закон управления сцеплением [2],

позволяющий не только снизить удельные работу и мощность буксования сцепления и коэффициент динамических нагрузок, но и обеспечить высокую плавность разгона, снизить расход топлива и уровень шума. Автоматическое управление сцеплением и тормозной системой помогает водителю начать движение автомобиля на подъем без опасения скатывания [3]. Следует отметить, что при моделировании алгоритма управления в работе [3] тормозной момент при остановленном автомобиле задается, а не определяется параметрами предыдущего торможения, зависящими от интенсивности торможения, величины уклона и степени автоматизации тормозного управления. Динамическое состояние автомобиля и тормозного управления при торможении исследовалось авторами работ [4–6]. Показано преимущество адаптивного тормозного управления, упрощающего и облегчающего действия водителя при управлении.

В результате анализа публикаций можно отметить, что синтез автоматических систем помощи водителю при трогании автомобиля должен выполняться на результатах анализа не только режима начала движения автомобиля на подъем, но и предшествующего режима торможения. Это обусловлено тем, что режим начала движения автомобиля на подъем характеризуется параметрами управления двигателем, сцеплением и параметрами тормозного управления, сформированными при остановке и удержании автомобиля неподвижным на уклоне до начала движения.

### Цель и постановка задачи

Целью работы является исследование динамических процессов в режимах торможе-

ние–стоп–начало движения автомобиля на подъеме. Для исследования режимов торможение–стоп–начало движения автомобиля на подъеме необходимо выполнить имитационное моделирование динамического поведения автомобиля и систем управления его движением:

– замедление автомобиля тормозной системой до полной его остановки с отсоединением от трансмиссии двигателем;

– удержание автомобиля тормозной системой на подъеме в неподвижном состоянии с отсоединением от трансмиссии двигателем;

– начало движения автомобиля, стоящего на подъеме, при соединении фрикционным сцеплением двигателя с трансмиссией.

### Математическое описание режимов торможение–стоп–начало движения автомобиля на подъеме

Для всех режимов движения автомобиля уравнение, описывающее его динамическое состояние, представлено в виде производной угловой скорости колеса  $\omega_a$

$$\frac{d\omega_a}{dt} = \frac{M_{\text{сц}} - M_{\psi}}{J}, \quad (1)$$

где  $M_{\text{сц}}$  – момент на ведомом валу сцепления (на первичном валу коробки передач);  $M_{\psi}$  – момент сопротивления движению, приведенный к первичному валу коробки передач;  $J$  – момент инерции поступательно движущихся и вращающихся частей автомобиля, приведенный к первичному валу коробки передач.

При описании режима начала движения автомобиля в режиме буксования фрикционного сцепления приняты следующие допущения с учетом рекомендаций [1]:

– ведомый вал фрикционного сцепления жестко соединен с ведущими колесами автомобиля, то есть включена первая передача трансмиссии;

– ведущие и ведомые части системы (трансмиссии) абсолютно жесткие;

– моменты сопротивления вращению ведомых и ведущих частей пренебрежимо малы.

При торможении автомобиля с отсоединением двигателя момент сцепления  $M_{\text{сц}}$  равен нулю, а момент сопротивления движению  $M_{\psi}$  представляет собой момент

$$M_{\psi} = (P_{\text{т}} + P_{\alpha} + P_f + P_{\text{в}}) \cdot r_{\text{д}} / u_{\text{тр}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{т}}, P_{\alpha}, P_f, P_{\text{в}}$  – силы сопротивления движению – соответственно тормозная сила, сила сопротивления подъему, сила сопротивления качению и сила сопротивления воздуху;  $r_{\text{д}}$  – радиус динамического колеса;  $u_{\text{тр}}$  – передаточное число трансмиссии.

Тормозная сила  $P_{\text{т}}$  определяется конструктивными характеристиками тормозного управления и задающего воздействия водителя

$$P_{\text{т}} = f(k_3, P_{\text{п}}), \quad (3)$$

где  $k_3$  – коэффициент эффективности тормозного управления;  $P_{\text{п}}$  – задающее воздействие (усилие на педали тормоза).

Следует отметить, что коэффициент эффективности тормозного управления  $k_3$ .

Момент на ведомом валу сцепления  $M_{\text{сц}}$  в выражении (1) зависит как от конструктивных характеристик сцепления и двигателя, так и от характеристик процессов управления двигателем и включением сцепления. При моделировании процесса включения сцепления значение момента сцепления  $M_{\text{сц}}$  определяет зависимость

$$M_{\text{сц}} = \begin{cases} M_{\text{тр}}, & \text{если } M_{\text{тр}} < M_e; \\ M_e, & \text{если } M_{\text{тр}} \geq M_e, \end{cases} \quad (4)$$

где  $M_{\text{тр}} = f(X_{\text{п}})$  – момент трения между ведущими и ведомыми поверхностями трения в сцеплении в зависимости от перемещения педали  $X_{\text{п}}$ ;  $M_e = f(\alpha, n_e)$  – крутящий момент на коленчатом валу двигателя в зависимости от степени подачи топлива и частоты вращения вала.

Момент трения между ведущими и ведомыми поверхностями трения в сцеплении в зависимости от перемещения педали  $X_{\text{п}}$  определяется по имитационной модели, при допущении, что перемещение педали линейно зависит от времени

$$M_{\text{тр}} = \begin{cases} \frac{t}{t_{\text{сц}}} \cdot M_{\text{тр max}}, & \text{если } t < t_{\text{сц}}; \\ M_{\text{тр max}}, & \text{если } t \geq t_{\text{сц}}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $t_{\text{сц}}$  – полное время перемещения педали сцепления;  $t$  – текущее значение времени перемещения педали сцепления;  $M_{\text{тр max}}$  – максимальное значение момента трения сцепления.

**Моделирование и анализ режимов торможение–стоп–начало движения автомобиля на подъеме**

Анализ режимов торможение–стоп–начало движения выполнялся на примере автомобиля, параметры которого соответствуют параметрам автобуса МАЗ 256000.

В процессе остановки автобуса водитель управляет тормозной системой с электропневматическим приводом [2], схема которого представлена на рис. 1.

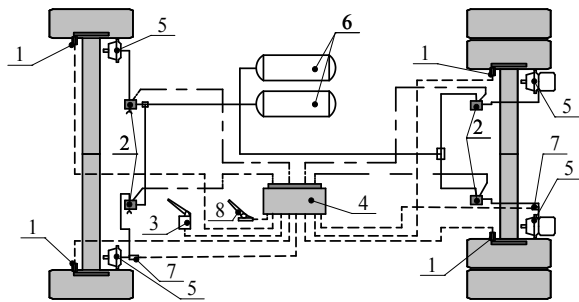


Рис. 1. Схема электропневматического привода тормозов: 1 – датчики скорости; 2 – электропневматический модулятор; 3 – электронная педаль тормоза (датчик усилия и скорости перемещения); 4 – электронный блок управления; 5 – пневмокамеры; 6 – ресиверы; 7 – датчики давления; 8 – педаль управления сцеплением

При управлении торможением автобуса водитель формирует на органе управления – электронной педали тормоза 3 – задающий сигнал. Сигнал от педали тормоза поступает в электронный блок управления 4, который формирует сигналы управления электропневматическими модуляторами 2 в соответствии с законом управления. Закон управления определяется на основе обработки данных с датчиков скорости 1, датчика усилия на педали тормоза 3 и датчиков давления воздуха в тормозных камерах 6. Анализировалось влияние на процесс начала движения торможения автобуса с адаптивным управлением, то есть его замедление пропорционально задающему сигналу водителя и неадаптивное, то есть его замедление пропорционально давлению в тормозном приводе.

Кроме этого, выполнен анализ влияния на параметры начала движения автомобиля на подъем процесса растормаживания с управлением от педали тормоза и с управлением по перемещению педали сцепления 8 в ре-

жиме его включения. В последнем случае обеспечивается пропорциональность давления воздуха в тормозных контурах положения педали сцепления.

Структурно имитационная модель процесса торможение–стоп–начало движения автомобиля, реализованная в приложении Simulink программного продукта Matlab, представляет собой функциональные блоки с соответствующими связями (рис. 2). Уравнение (1) решает блок *dwa* (рис. 2).

Результат решения интегрируется и вычисляется изменение угловой скорости колеса автомобиля, с учетом начальных условий, определяется значение скорости движения  $V_a$  и путь  $S_t$  в зависимости от параметра управления – давления в тормозной камере  $p(t)$ . Начальные условия и конструктивные параметры автобуса занесены в блок РКМ.

Для анализа режимов торможение–стоп–начало движения результаты моделирования представлены в графическом виде.

На рис. 3 отражены зависимости тормозных моментов, момента сопротивления движению, момента двигателя и частоты вращения вала двигателя и ведомого вала сцепления от времени. При этом торможение начинается со скорости 4 км/ч, что соответствует условию движения автомобиля в режиме «пробки», а усилие на педали тормоза – 150 Н.

На рисунке представлены зависимости тормозных моментов для двух способов управления торможением:

- давление в тормозных контурах формируется пропорционально усилию на педали тормоза (такую зависимость обеспечивает электропневматический привод тормозов (ЭПП));

- давление в тормозных контурах формируется пропорционально замедлению, уровень которого задает водитель нажатием на педаль (такую зависимость обеспечивает адаптивный электропневматический привод тормозов (АЭПП)).

Тормозной момент, реализуемый на колесах остановленного автомобиля при нажатой педали тормоза, равен моменту, формируемому силой скатывания автомобиля. Следует заметить, что при этом давление воздуха в тормозном контуре может превышать необходимое значение для создания момента, достаточного для удержания автомобиля на уклоне.

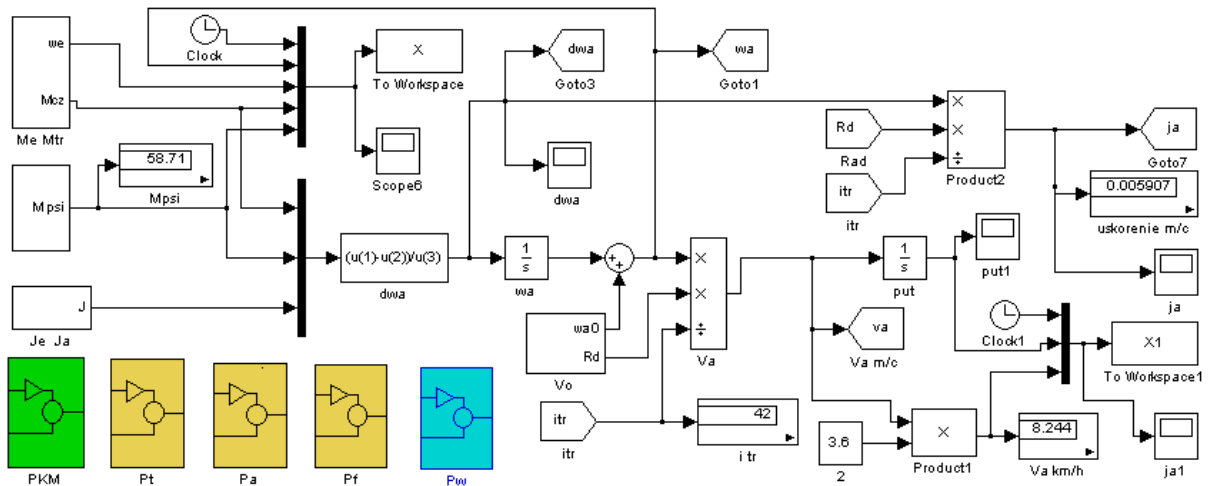


Рис. 2. Структурная схема модели процесса движения автомобиля: РКМ – блок задания и вычисления параметров автомобиля; Pt, Pa, Pf, Pw – блоки вычисления сил сопротивления движению; Mpsi – блок вычисления приведенного момента сопротивления движению; Me Mtr – блок вычисления момента на ведомом валу сцепления

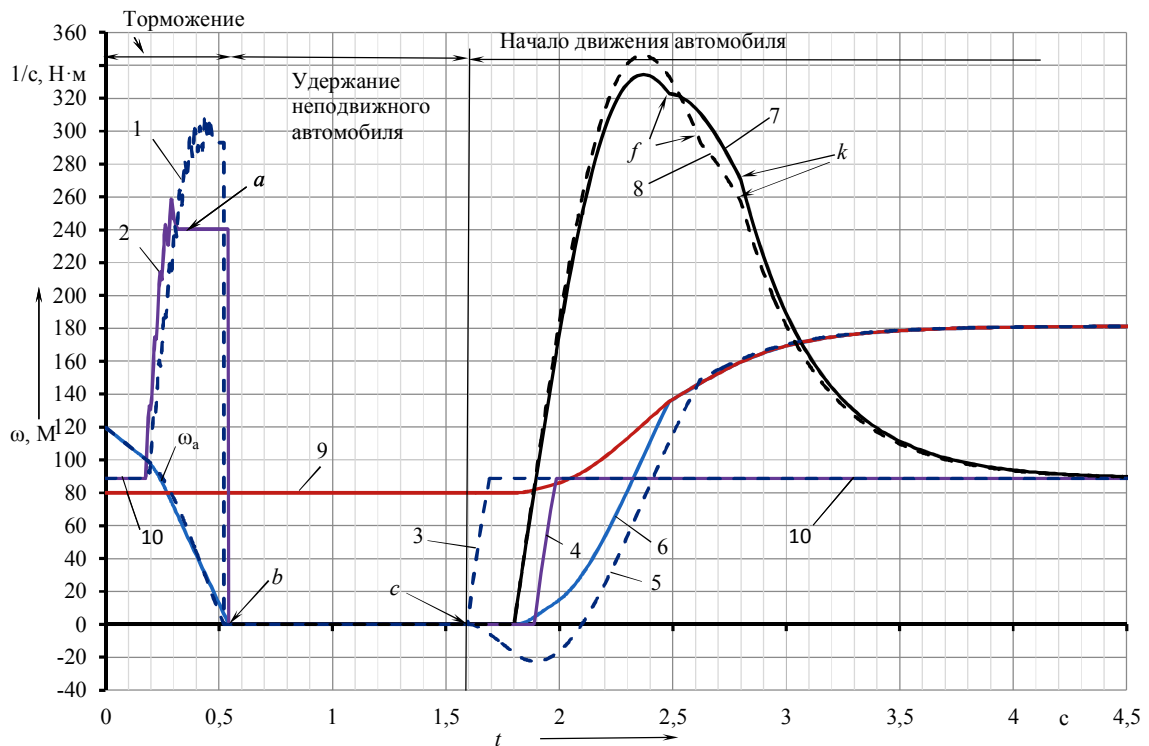


Рис. 3. Изменение параметров движения автомобиля, приведенных к ведомому валу сцепления, при времени переноса ноги с педали тормоза на педаль подачи топлива 0,3 с: 1, 2 – тормозной момент при торможении соответственно ЭПП и АЭПП; 3, 4 – момент сопротивления движению при растормаживании соответственно ЭПП и АЭПП; 5, 6 – угловая скорость колеса в начале движения после растормаживания соответственно ЭПП и АЭПП; 7, 8 – момент на ведомом валу сцепления; 9 – угловая скорость вала двигателя; 10 – момент сопротивления дороги; a – ограничение тормозного момента АЭПП; b – момент остановки автомобиля; c – начало скатывания автомобиля при управлении ЭПП; d – начало нарастания крутящего момента на ведомом валу сцепления; e – начало движения автомобиля при управлении АЭПП; f, k – момент сцепления соответственно при блокировке и включении ограничителя частоты вращения вала двигателя;  $\omega_a$  – угловая скорость колеса при торможении

После освобождения педали тормоза давление в тормозном контуре при электропневматическом приводе начинает сразу же уменьшаться (поз. 5 на рис. 4). В случае адаптивного тормозного привода снижение давления воздуха в тормозном контуре начинает снижаться только после начала управления включением сцепления. То есть после освобождения педали тормоза давление в тормозном контуре сохраняется прежним и только при отпуске педали сцепления начинает снижаться пропорционально ее ходу (поз. 6 на рис. 4). При моделировании задано время начала переноса ноги с тормозной педали на педаль подачи топлива – 1,5 с после начала торможения. Начало нажатия на педаль подачи топлива совпадает по вре-

мени с началом перемещения педали сцепления через 0,3 с после отпускания педали тормоза.

На рис. 3 и 4 видно, что при отсутствии адаптивного управления тормозным приводом автомобиль через 0,1 с начинает откатываться назад. Движение автомобиля вперед начинается только через 0,6 с. В случае адаптивного управления тормозным приводом со слежением по перемещению педали сцепления скатывание назад не происходит. Движение автомобиля вперед начинается через 0,33 с. Следует отметить, что это время определяется темпом управления сцеплением и двигателем и не зависит от времени переноса ноги с педали тормоза на педаль управления подачей топлива.

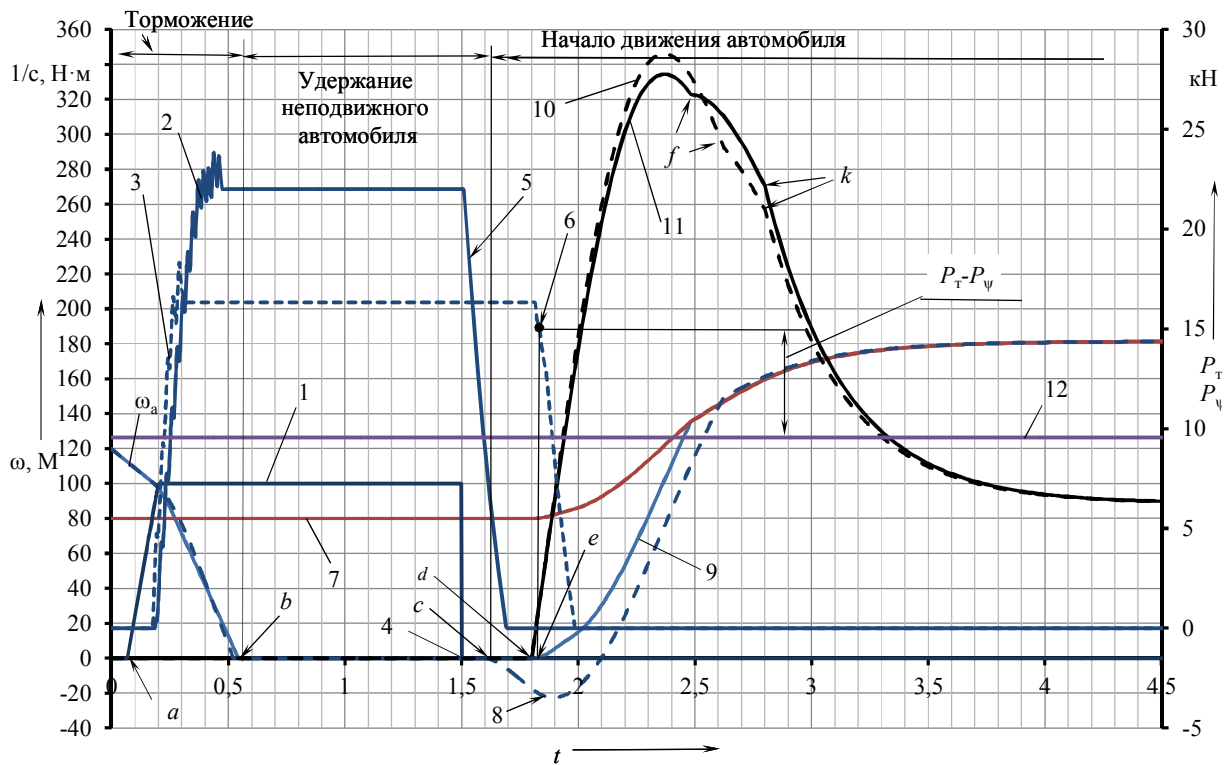


Рис. 4. Изменение параметров управления автомобилем и параметров его движения, приведенных к ведомому валу сцепления: *a* – начало нарастания усилия на педали тормоза; *b* – момент остановки автомобиля; *c* – начало скатывания автомобиля при управлении ЭПП; *d* – начало нарастания крутящего момента на ведомом валу сцепления; *e* – начало движения автомобиля при управлении АЭПП; 1 – усилие на тормозной педали; 2, 3 – тормозные силы при торможении соответственно ЭПП и АЭПП; 4 – момент отпуская педали тормоза; 5, 6 – тормозные силы при растормаживании соответственно ЭПП и АЭПП; 7 – угловая скорость вала двигателя; 8, 9 – угловая скорость колеса в начале движения после растормаживания соответственно ЭПП и АЭПП; 10, 11 – момент на ведомом валу сцепления при растормаживании соответственно ЭПП и АЭПП; 12 – сила сопротивления дороги

В случае неадаптивного управления тормозами в начале движения автомобиля на подъем начало движения автомобиля вперед существенно зависит от времени переноса

ноги с педали тормоза на педаль управления подачей топлива. Так, например, при возрастании времени переноса ноги с педали тормоза на педаль подачи топлива до 0,7 с дви-

жение вперед начинается только через 1,07 с (рис. 5).

Результаты исследования начала движения автомобиля на уклоне  $5^\circ$ , отражающие

зависимости скорости движения и его перемещения после отпущания педали тормоза и последующего управления сцеплением и двигателем, представлены на рис. 6.

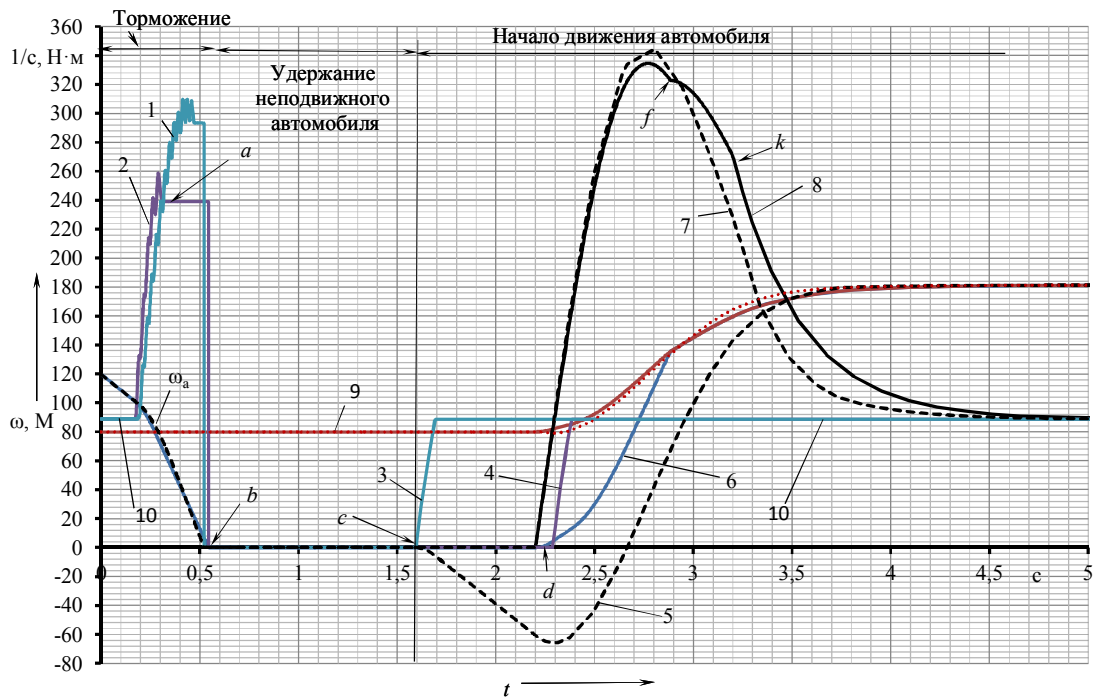


Рис. 5. Изменение параметров движения автомобиля, приведенных к ведомому валу сцепления, при времени переноса ноги с педали тормоза на педаль подачи топлива 0,7 с: обозначения см. на рис. 3

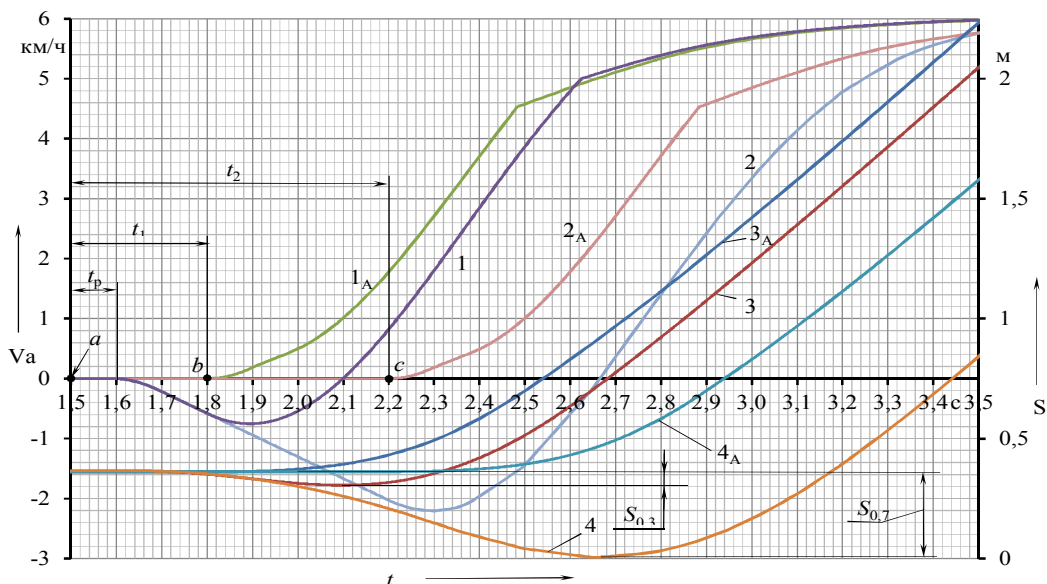


Рис. 6. Скорость и перемещение автомобиля при начале движения на уклоне  $5^\circ$  при нарастании подачи топлива до  $\alpha=0,5$  за 1 с и времени управления сцеплением 0,3 с:  $a$  – момент отпущания педали тормоза;  $b, c$  – момент нажатия на педаль подачи топлива и отпущания педали сцепления соответственно через 0,3 и 0,7 с;  $t_p, t_1, t_2$  – время соответственно растормаживания при управлении ЭПП, переноса ноги с педали тормоза на педаль подачи топлива; 1, 2 – скорость при начале движения автомобиля; 3, 4 – перемещение автомобиля; индекс 1 соответствует параметрам при управлении АЭПП;  $S_{0,3}, S_{0,7}$  – перемещение автомобиля назад при управлении ЭПП

Характеристики управления сцеплением и двигателем одинаковые при адаптивном и неадаптивном растормаживании автомобиля.

Очевидно, что при адаптивном управлении растормаживанием (АЭПП) характер изменения скорости автомобиля от времени не зависит от времени переноса ноги с педали тормоза на педаль управления подачей топлива. При этом изменяется только момент начала движения вперед. В случае неадаптивного управления растормаживанием (ЭПП) характер изменения скорости и направления движения автомобиля существенно зависит от времени переноса ноги с педали тормоза на педаль управления подачей топлива. Так, для заданных условий начала движения при рассогласовании воздействия на педали 0,3 с автомобиль скатывается назад на 0,06 м. При увеличении рассогласования до 0,7 с автомобиль скатывается назад на 0,36 м.

#### Выводы

Установлено, что при уровне подачи топлива, достаточном для движения автомобиля вперед, закон изменения подачи топлива и закон управления сцеплением мало влияют на величину его скатывания. В случае торможения автомобиля ЭПП величина тормозного усилия, обеспечивающего заданное замедление, может быть недостаточной или избыточной для удержания его неподвижным после остановки на уклоне.

Нужно отметить, избыточное тормозное усилие приводит к перерасходу воздуха, однако время процесса растормаживания при этом увеличивается, что положительно отражается на динамике начала движения автомобиля на подъеме. При малых скоростях движения в транспортном потоке перерегулирование тормозного усилия мало отражается на тормозном пути, но вызывает резкое изменение замедления и, как следствие, ухудшение комфортабельности поездки. В этой связи более благоприятным является адаптивное управление торможением АЭПП, которое обеспечивает тормозное усилие при заданном водителем уровне замедления с учетом сопротивления движению на подъеме. Изменение тормозного усилия для удержания неподвижного автомобиля на месте происходит после остановки и не отражается на комфортабельности поездки. В этом случае уменьшается и расход воздуха ввиду отсутствия перерегулирования тормозного усилия. Комфортабельность в начале движения обес-

печивается регулируемым выпуском воздуха из тормозных камер в зависимости от положения педали сцепления, что обеспечивает постоянство знака ускорения автомобиля.

#### Литература

1. Сцепления транспортных и тяговых машин / И.Б. Барский, С.Г. Борисов, В.А. Галягин и др.; под ред. Ф.Р. Геккера и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.
2. Захарик Ю.М. Комплексный закон управления сцеплением / Ю.М. Захарик // Автомобильная промышленность. – 2004. – №9. – С. 23–25.
3. Захарик Ю.М. Алгоритм электронной системы ZS, исключающей скатывание автомобиля при трогании на подъеме / Ю.М. Захарик, А.М. Захарик // Автомобильная промышленность. – 2006. – №2. – С. 14–17.
4. Туренко А.Н. Адаптивное тормозное управление колесных машин / А.Н. Туренко, С.Н. Шуклинов // Журнал автомобильных инженеров. – 2010. – №5 (64). – С. 18–21.
5. Туренко А.Н. Моделирование динамики колесной машины с адаптивным электропневматическим приводом тормозов / А.Н. Туренко, С.Н. Шуклинов, Н.Г. Михалевич // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 56. – С. 66–74.
6. Туренко А.Н. Электропневматический привод тормозов с адаптивным управлением / А.Н. Туренко, С.Н. Шуклинов, Н.Г. Михалевич // Изв. ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы»: межвуз. сб. науч. ст. – 2011. – Вып. 4, № 12(85). – С. 51–53.

#### References

1. Barskiy, I.B., Borisov, S.G., Galyagin, V.A. (1989). *Stsepleniya transportnykh i tyagovykh mashin* [Clutches of transport and traction vehicles]. (Ed.) F.R. Gekker and dr. Moscow: Mashinostroyeniye [in Russian].
2. Zaharik, Yu.M. (2004). *Kompleksnyy zakon upravleniya stsepleniem* [Complex law of clutch control]. *Avtomobilnaya promyshlennost - Automobile industry*, 9, 23-25 [in Russian].
3. Zaharik, Yu.M., Zaharik, A.M. (2006). *Algoritm elektronnoy sistemy ZS, isklyuchayushey skatyvaniye avtomobilya pri troganii na pod'eme* [Algorithm of ZS electronic system excluding car rolling



- down on the slope]. *Avtomobilnaya promyshlennost - Automobile industry*, 2, 14-17 [in Russian].
4. Turenko, A.N., Shuklinov, S.N. (2010). Adaptivnoe tormoznoe upravlenie kole-snyih mashin [Adaptive brake control of wheeled cars]. *Zhurnal avtomobilnyih inzhenerov - Magazine of automotive engineers*, 5 (64), 18-21 [in Russian].
  5. Turenko, A.N., Shuklinov, S.N., Mihalevich, N.G. (2012). Modelirovanie dinamiki kole-snoy mashinyi s adaptivnyim elektropnevmaticheskim privodom tormozov [Simulating the dynamics of the car with adaptive electropneumatic brake drive]. *Vestnik HNADU - Bulletin of KhNAHU*, 56. 66-74 [in Russian].
  6. Turenko, A.N., Shuklinov, S.N., Mihalevich, N.G. (2011). Elektropnevmaticheskiy privod tormozov s adaptivnyim upravleniem [Electropneumatic brake drive with adaptive control]. *Izv. VolgGTU. Seriya «Nazemnyie transportnyie sistemyi» - Bulletin VolgGTU. Series «Land transportations systems»*, 4 12(85). 51-53 [in Russian].

**Шуклинов Сергей Николаевич, проф.,**  
д.т.н., кафедра автомобилей  
+38 066-398-40-77, sn@khadi.kharkov.ua

**Губин Антон Владимирович, аспирант,**  
0933311284, Anton-345@ukr.net  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,  
61002, г. Харьков, Украина,  
ул. Ярослава Мудрого, 25,

#### THE RESEARCH OF BRAKING-STOP-START MODES OF CAR MOTION ON THE SLOPE

**Shuklinov S., Gubin A.,**  
KhNAHU

**Abstract. Problem.** The problem is the synthesis of a driver support automatic systems at the start and forming the basis for further research of dynamic processes for the transient motion modes. **Goal.** The goal is to study dynamic processes in braking-stop-start modes of a car moving aslope by simulation of dynamic behavior of the car and its steering control systems. **Methodology.** Structural simulation model of the braking-stop-start process of car motion has been realized in the Simulink application of the Matlab software and is presented by functional blocks simulating the process of dynamic state of the car and the working processes of transmission and brakes control systems, the mathematical description of braking-stop-start modes of car motion aslope has

been made. **Results.** The suggested simulation model makes possible evaluation of parameters characterizing the dynamic behavior of the car with the given laws of fuel intake control, brake torque and torsion torque linked up with the driving wheels in different driving modes; simulation modes reflect the car deceleration by braking system up to its full stop on the slope, keeping the car motionless by the braking system and its start at connection by friction clutch of the engine and the transmission, the structural scheme of the model of the process of the car motion aslope has been performed. **Scientific novelty.** The prerequisites for formation of the basis for further research of the modes of the car dynamic state when starting the motion aslope have been substantiated, the methods of research of the car dynamic behavior when starting moving aslope have been built, it has also been determined that when the level of the fuel supply is enough for the car motion ahead, the law of the fuel intake change and the law of the clutch control have a small impact on the value of its rolling. **Practical value.** The results of the research can be used to extend the courses of students training in automobile specialties; the results of the simulation of the dynamic behavior of the car, as the functions of control system working processes, allow carrying on the research work on improving the automatic system of brake control when starting motion aslope.

**Key words:** model, car, mode of motion, braking, movement, slope, resistance, moment.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ-СТОП-ПОЧАТОК РУХУ АВТОМОБІЛЯ НА УКЛОНІ

**Шуклінов С.М., Губін А.В.,**  
ХНАДУ

**Анотація.** В результаті аналізу публікацій, присвячених дослідженню динамічної поведінки автомобіля під час розгону й гальмування, а також його залежності від параметрів керування, було зроблено висновок, що синтез автоматичних систем допомоги водієві при рушанні автомобіля повинен виконуватися на результатах аналізу не тільки режиму початку руху автомобіля на підйом, але і попереднього режиму гальмування. Це обумовлено тим, що режим початку руху автомобіля на підйом характеризується параметрами керування двигуном, зчепленням і параметрами гальмівного керування, сформованими при зупинці й утриманні автомобіля нерухомим на ухилі до початку руху.

Метою роботи є дослідження динамічних процесів у режимах гальмування-стоп-початок руху автомобіля на підйомі. Для дослідження режимів гальмування-стоп-початок руху автомобіля на підйомі виконано структурно-імітаційну модель процесу гальмування-стоп-початок руху автомобіля в додатку Simulink програмного комплексу Matlab, яку представлено функціональними блоками, що моделюють процес



динамічного стану автомобіля і робочі процеси систем керування трансмісією та гальмами. Отримані результати на підставі імітаційного моделювання дозволяють оцінити параметри, що характеризують динамічну поведінку автомобіля при заданих законах керування подачею палива, гальмівним моментом і крутним моментом, підведеним до ведучих коліс у різних режимах руху; режими моделювання відображають уповільнення автомобіля гальмівною системою до повної його зупинки на ухилі, утримання автомобіля в нерухомому стані гальмівною системою і початок його руху при з'єднанні зчепленням двигуна і трансмісії.

Слід виділити такі основні моменти наукової новизни даної статті: зокрема, обумовлені передумови для формування базису подальших досліджень режимів динамічного стану автомобіля при початку руху на підйом; встановлено, що за рівня подачі палива, достатнього для руху автомобіля вперед, закон зміни подачі палива і закон керування зчепленням мало впливають на величину його скочування.

Результати досліджень можуть бути використані для розширення курсів навчання студентів автомобільним спеціальностям.

**Ключові слова:** модель, автомобіль, режим руху, гальмування, початок руху, ухил, опір, момент.

---