

Бузников С.Е., Тамбулатов П.В., Шабанов Н.С.

Динамические границы аварийного перегрева тормозов системы активной безопасности автомобиля

Одним из наиболее перспективных направлений решения проблемы безопасности дорожного движения, сложившихся в ведущих развитых странах, является создание различных систем активной безопасности.

Задача оптимального управления на конечном интервале $t_2 \div t_1$ для систем активной безопасности формулируется как задача минимизации модифицированного квадратичного функционала качества управления [1].

Решением этой задачи являются управляющие воздействия $U(t) \in U_{\text{дон}}$, формируемые в программно-аппаратной среде $R \in R_{\text{дон}}$. Минимум классического квадратичного функционала качества управления достигается в задачах Больца и Лагранжа при выполнении неравенств вида: $X_{i \text{ сп}}^H(X, t) \leq X_i(t) \leq X_{i \text{ сп}}^B(X, t)$, $1 \leq i \leq n$,

где $X_{i \text{ сп}}^B(X, t)$ и $X_{i \text{ сп}}^H(X, t)$ определяются из условий предотвращения типовых столкновений.

Наращивание функций и увеличение числа предотвращаемых столкновений ограничивается как отсутствием необходимого набора датчиков первичной информации, так и значительным увеличением стоимости систем, построенных по традиционным схемам.

Минимизация аддитивной составляющей потерь на управление в квадратичном функционале предполагает автоматизацию формирования компонент вектора $U = (U_1, U_2, U_3)^T$ без участия водителя. Данный эффект достигается путем автоматического управления трансмиссией, двигателем и тормозами. В число ограничений, формирующих функцию потерь в квадратичном функционале, для технически исправного автомобиля входят граничные скорости, определяемые из достаточных условий предотвращения типовых столкновений из структурированного множества столкновений. К их числу относятся граничные скорости опрокидывания $V_{\text{гр1}}^B$, заноса $V_{\text{гр2}}^B$ и сноса колес $V_{\text{гр3}}^B$, разрыва корда шин $V_{\text{гр4}}^B$, пробуксовки ведущих колес $V_{\text{гр5}}^B$, а также скорости, определяемые асимметрией колесных пар $V_{\text{гр6}}^B$, аварийным перегревом

тормозов $V_{гр7}^B$, уровнем допустимых вибраций в салоне автомобиля $V_{гр8}^B$ и др.

В качестве математической модели нагрева тормозов [2] используется система дифференциальных уравнений первого закона

$$\text{термодинамики: } T_{Hi} \frac{dy_i}{dt} + y_i = H_i \cdot U_{3i}(t), \quad 1 \leq i \leq 4, \text{ где} \quad (1)$$

$T_{Hi} = C_{Ti} \cdot C_{0i}^{-1}$ – постоянная времени нагрева и охлаждения тормозов i -го колеса; C_{Ti} и C_{Hi} – константы теплоемкости и теплообмена i -го колеса; $H_i = C_{0i}^{-1} \cdot k_{3i} \cdot R_{di} \cdot R_{Ci}^{-1}$; k_{3i} – коэффициент усиления тормозов i -го колеса; R_{Ci} и R_{di} – свободный и динамический радиусы i -го колеса; $y_i = (T_i - T_{oc})$ – температура перегрева тормозов i -го колеса; T_i и T_{oc} – соответственно температуры тормозов i -го колеса и окружающей среды; $V_i(t)$ – линейная скорость вращения i -го колеса; $U_{3i}(t)$ – тормозное управляющее воздействие на i -ом колесе.

Приближенное решение (1) при допущении $T_{Hi} \gg 1$ в режиме торможения ($U_{3i} > 0$) до полной остановки ($V_i = 0$) с замедлением $a_T > 0$ приводится к виду: $y_i(t_S) = y_i(t) + 0.5 \cdot a_T^{-1} \cdot V_i^2(t) \cdot T_{Hi}^{-1} \cdot H_i \cdot U_{3i}$.

$$\text{Принимая } y_i(t_S) = y_{гр}^e, V_i(t) = V_{гр}^e(t), U_{3i} = U_3 \text{ и } a_T = m_0^{-1} \sum_{i=1}^4 k_{3i} U_3,$$

$$\text{получим: } V_{гр}^e(t) = \text{Re} \sqrt{H_i^* \cdot [y_{гр}^e - y_i(t)]}; H_i^* = 2C_{Ti} R_{di}^{-1} R_{Ci} m_0^{-1} k_{3i}^{-1} \sum_{i=1}^4 k_{3i}.$$

$$\text{С учетом продольных скольжений колес } S_i = \Delta V_{Si} \cdot V_m^{-1}; V_i = V_m \cdot (1 + S_i) \text{ и } V_{гр7i}^e(t) = (1 + S_i)^{-1} \cdot \text{Re} \sqrt{H_i^* \cdot [y_{гр}^e - y_i(t)]}.$$

Результирующая граница скорости аварийного перегрева тормозов определяется как минимальная из граничных скоростей перегрева тормозных устройств: $V_{гр7}^B(t) = \min \{V_{гр71}^B(t), V_{гр72}^B(t), V_{гр73}^B(t), V_{гр74}^B(t)\}$.

На рис. 1 приведены зависимости граничной скорости аварийного перегрева тормозов $V_{гр7}^B(t)$ автомобиля Mercedes-Benz E240T от температуры перегрева тормозов y_i для торможения с нулевым

скольжением колес $S_i = 0$ и $S_i = -0.3$ на границе блокирования колес в случае использования синтетической тормозной жидкости DOT-4 с температурой кипения 265 C° и $T_{OC}=0\text{ C}^\circ$.

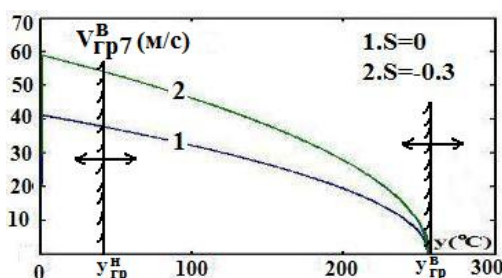


рис.1 Зависимости $V_{гр7}^B(t)$ от температуры перегрева тормозов

Физическая интерпретация $V_{гр7}^B(t)$ означает, что торможение со скоростей, превышающих граничную, будет сопровождаться увеличением температур перегрева тормозов, превышающих аварийное значение, и, как следствие, закипанием тормозной жидкости в тормозных цилиндрах. В этом случае повторное торможение со значительным замедлением становится невозможным.

Исследование свойств динамической границы перегрева тормозов позволяет сформулировать следующие выводы:

- интенсивное торможение со скольжениями колес на границе их блокирования ($S_i \approx -0.3$) позволяет увеличить граничную скорость примерно в 1.5 раза по сравнению с плавными торможениями ($S_i \approx 0$);
- увеличение полной массы автомобиля m_0 сопровождается соответствующим снижением граничной скорости. Так, в частности, увеличение полной массы на 30% приводит к снижению граничной скорости на 15%;
- увеличение нижней границы допустимого перегрева тормозов $y_{гр}^H$, необходимой для быстрого испарения влаги с рабочей поверхности тормозов в условиях дождя, сопровождается некоторым снижением граничной скорости $V_{гр7}^B$ по сравнению с движением по сухой поверхности.

На рис.2 приведены результаты моделирования системы стабилизации безопасной скорости автомобиля:

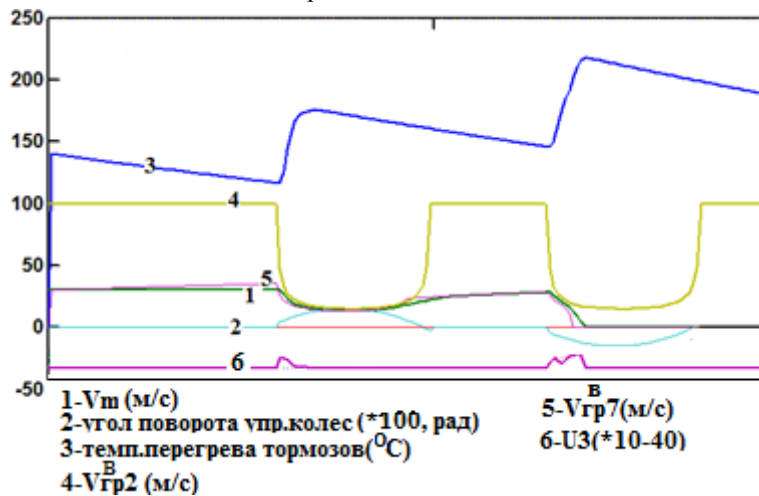


рис.2 Результаты моделирования системы стабилизации безопасной скорости автомобиля

Компьютерное моделирование системы стабилизации безопасной скорости проводилось для автомобиля Mercedes-Benz E240T. Анализ результатов моделирования позволяет судить об адекватности рассматриваемых моделей и динамических границ аварийного перегрева тормозов.

Косвенные измерения температур перегрева тормозов и определение динамических границ аварийного перегрева в системе ИНКА-СПОРТ реализуются программно, что не требует введения дополнительных датчиков первичной информации.

Литература:

1. Бузников С.Е. Принципы построения рекордных автомобильных систем активной безопасности. Труды XIV Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» - М.: Изд-во РГГУ, 2006. – С. 506 –507.
2. Бузников С.Е., Шабанов Н.С. Виртуальные датчики нагрева шин и тормозов автомобиля // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Датчики и системы» – 2009 - №8 (123).- С.21-25.