

БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

УДК 629.33.067

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД К ТЕРМИНАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ
ДИСТАНЦИЕЙ МЕЖДУ АВТОМОБИЛЯМИ В УСЛОВИЯХ
ПРОГНОЗИРУЕМОЙ УГРОЗЫ ДВИЖЕНИЮ****Р.М. Швец, адъюнкт, С.А. Осташевский, проф., к.т.н., Национальная академия
Государственной пограничной службы Украины, г. Хмельницкий**

Аннотация. Рассмотрен альтернативный подход к автоматическому управлению дистанцией между автомобилями в транспортном потоке (колонне) для информационно-индикаторной системы предупреждения столкновений.

Ключевые слова: система предупреждения столкновений автомобилей, транспортные средства, транспортный поток, дистанция безопасности.

**АЛЬТЕРНАТИВНИЙ ПІДХІД ДО ТЕРМІНАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ
ДИСТАНЦІЄЮ МІЖ АВТОМОБІЛЯМИ В УМОВАХ ПРОГНОЗОВАНОЇ
НЕБЕЗПЕКИ РУХУ****Р.М. Швець, ад'юнкт, С.А. Осташевський, проф., к.т.н., Національна академія
Державної прикордонної служби України, м. Хмельницький**

Анотація. Розглянуто альтернативний підхід до автоматичного керування дистанцією між автомобілями у транспортному потоці (колоні) для інформаційно-індикаторної системи попередження зіткнень.

Ключові слова: система попередження зіткнень автомобілів, транспортні засоби, транспортний потік, дистанція безпеки.

**ALTERNATIVE APPROACH TO TERMINAL CONTROLLING THE DISTANCE
BETWEEN VEHICLES IN CONDITIONS OF PREDICTABLE TRAFFIC
COLLISION****R. Shvets, Adj., S. Ostashevskiy, Prof., Ph. D. (Eng.),
National Academy of State Border Service of Ukraine, Khmelnytskyi**

Abstract. An alternative approach to automatic controlling the distance between vehicles in a transport flow for the information – indicator system of collision warning is considered.

Key words: car collision warning system, vehicle, traffic flow, safe distance.

Введение

Проведённые теоретические исследования, а также анализ научных трудов отечественных и зарубежных учёных показал, что в основе критерия функционирования системы предупреждения столкновений автомобилей

(СПСА) лежит дистанция безопасности до препятствия, при нарушении которой должно быть начато торможение [1]. Научные исследования, проводимые в МАДИ под руководством А.А. Юрчевского [2], показали, что торможение должно осуществляться с замедлением, реализация которого возможна

на данной скорости движения при реально существующем сцеплении шин с дорожным покрытием, обеспечивающим остановку управляемого автомобиля без опасности столкновения с препятствием.

Анализ публикаций

Проведенный анализ публикаций, посвященных автомобильным системам предупреждения столкновений автомобилей, показал, что все они носят чисто рекламный характер, направленный на удовлетворение потребительских интересов как автопроизводителей, так и отдельных физических лиц. Материалы, которые публикуются, раскрывают возможности применения указанных систем и лишь некоторые их технические характеристики [3, 4].

К сожалению, нигде не рассматриваются принципы построения, схемные решения и элементная база, обеспечивающая реализацию автомобильных систем предупреждения столкновений автомобилей, а именно что касается систем предупреждения столкновений автомобилей и их быстрого маневрирования и передвижения в составе колонны.

Цель и постановка задачи

Целью работы является формирование методики реализации закона управления дистанцией между автомобилями в транспортном потоке.

Методика формирования закона управления дистанцией между автомобилями

Для установления закономерностей при решении задачи сближения с препятствием рассматривают движение автомобилей относительно системы координат (скорость – V , путь – S , рис. 1).

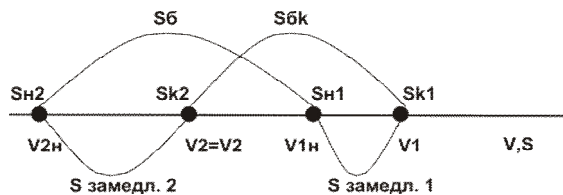


Рис. 1. Схема восстановления условия безопасности во время движения автомобилей друг за другом

Задача управления конечным состоянием движущегося автомобиля формулируется следующим образом: необходимо перевести автомобиль из точки с координатой $S_{н2}$ в точку с координатой $S_{к2}$ так, чтобы его скорость V_2 в момент прибытия приняла определенное значение, равное скорости V_1 лидирующего автомобиля, и при этом дистанция между автомобилями была бы равна $S_6 = S_{6к}(V_k)$.

Поскольку время процесса не устанавливается, он оценивается как разомкнутый по времени процесс сближения.

Заметим также, что нецелесообразно требовать выполнения условия прибытия автомобиля именно в точку $S_{к2}$. Ведь прежде всего необходимо обеспечить S_6 на конечной скорости движения. Поэтому сузим задачу, потребовав в конечном состоянии выполнения условий $(S_{6к}; V_k)$. Поскольку $S_{6к} = f(V_k)$, а значение V_k в случае служебного торможения лидера априорно неизвестно, то управление процессом торможения осуществляют, лишь обеспечив такое текущее замедление второго автомобиля, чтобы выполнить условие $S_6 = S_6(V)$. При этом остановка управляемого автомобиля должна быть произведена перед лидирующим автомобилем, на некотором расстоянии C , которое назовём запасом безопасной дистанции (рис. 2).

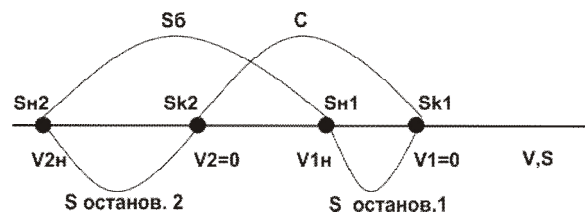


Рис. 2. Схема восстановления условия безопасности при полной остановке лидирующего автомобиля

Задача сводится к отысканию такой безопасной дистанции между автомобилями, движущимися со скоростью $V (S_6 = S_{н1} - S_{н2})$, чтобы в конце торможения между ними была обеспечена разность конечных координат $S_{к1} - S_{к2} = C$.

Конечная координата в конце торможения для первого автомобиля [1, 3] будет

$$S_{k1} = S_{y1} + j_{1\max} \frac{t^2}{2}.$$

При ручном управлении торможение второго автомобиля начинается с некоторым запаздыванием, определяемым временем реакции водителя, которое складывается из латентного $t_{л}$ и моторного $t_{м}$ времени. Для автоматической системы $t_{л}$ эквивалентно времени распознавания сближения с препятствием и переработки информации в электронных блоках, а $t_{м}$ эквивалентно времени срабатывания механизма привода тормоза

$$\tau_p = (t_{л} + t_{м}).$$

Поскольку торможение второго автомобиля начинается с запаздыванием на время реакции автоматической системы τ_p , то его конечная координата определяется как

$$S_{k2} = S_{H2} + V_H \tau_p + 0,5 j_{2\max} t^2.$$

Заменяя в приведённых уравнениях время t на $(V_H - V_K) / j$, получим

$$S_{k1} = S_{H2} + \frac{(V_H - V_K)^2}{2 j_{1\max}};$$

$$S_{k2} = S_{H2} + V_H \tau_p + \frac{(V_H - V_K)^2}{2 j_{2\max}}.$$

Вычитая из первого уравнения второе и заменяя разность начальных координат на S_6 после соответствующих дополнительных преобразований, получим

$$S_{6к} = V_K \tau_p + c. \quad (1)$$

При практической реализации автоматизированной системы управления полагают, что лидирующий автомобиль может развивать замедление в $n_j > 1$ раз большее, чем следующий за ним автомобиль $j_{1\max} = n_j j_{2\max}$; следовательно, для разных начальных скоростей торможения можем записать

$$S_6 = \left[\frac{n_j V_2^2 - V_1^2}{2g\phi_x} \right] + V_2 \tau_p + c; \quad (2)$$

или в общем виде

$$S_6 = S_{i2} - S_{i1} + V_2 \tau_p + c. \quad (3)$$

Расчёт S_6 , по крайней мере для двух состояний дорожного покрытия – сухого и мокрого, выполняется заранее. Данные по $S_6 = f(\phi_{xм})$ и $S_6 = f(\phi_{xc})$ вводятся в бортовой вычислитель системы управления индивидуально для каждого типа автомобиля. Для уточнённых расчётов величины S_6 в бортовом компьютере автомобиля целесообразно вводить данные по коэффициенту сцепления ϕ_x с учётом его изменения в функции скорости движения [1].

Эти выражения не удобны для расчёта в бортовом компьютере автомобиля, поскольку необходимо иметь в памяти матрицы данных ϕ_x для сухого и мокрого дорожного покрытия. Поэтому чаще используются экспериментальные данные по S_6 . Графики зависимости тормозного пути S_6 от скорости движения аппроксимируются полиномом вида

$$S_6 = \sum_{n=0}^m C_{nj} V_a^{nj},$$

где C_{nj} – эмпирические коэффициенты; n – показатель степени (целое положительное число); m – количество элементов.

Таким образом, для расчёта S_1 в бортовом вычислителе достаточен один входной параметр – скорость движения. Определение S_6 производится по формуле (3).

Для сухого дорожного цементно-бетонного покрытия

$$S_6(V_1; V_2; \phi_{xc}) = n_j (-0,0533V_2 + 0,0736V_2^2 + 0,004V_2^3) + (0,0533V_1 - 0,0736V_1^2 - 0,004V_1^3) + V_2 \tau_p + c. \quad (4)$$

Для мокрого такого же дорожного покрытия

$$S_6(V_1; V_2; \phi_{xм}) = n_j (0,214V_2 + 0,0038V_2^2 + 0,0104V_2^3 - 0,00013V_2^4) - (0,214V_1 - 0,0038V_1^2 - 0,0104V_1^3 - 0,00013V_1^4) - V_2 \tau_p + c. \quad (5)$$

Для определения возможности реализации S_6 необходимо найти значение величины J_{2n} достигаемого замедления автомобиля. Учитывая, что при движении автомобиль получает внешние возмущения, а на величину замедления влияет состояние атмосферы и продольный профиль дороги, при отработке команд управления необходимо введение обратных связей, корректирующих закон управления.

Автоматически управляемый автомобиль осуществляет преследование лидера и движется со скоростью $V_2 > V_1$. Сближение второго автомобиля с лидером до дистанции $S_6 = S_6(V_2) = S_{6н}$ потребует начала торможения этого автомобиля с некоторым замедлением j_2 , чтобы в конце сближения, т.е. при $V_1 = V_2$, было обеспечено выполнение условия $S_6 = S_6(V_1) = S_{6к}$ ($S_{6н}$ и $S_{6к}$ – соответственно начальная и конечная дистанции безопасности).

Время переходного процесса сближения определится по известной формуле

$$t = \frac{(V_{2н} - V_{2к})}{j_2} = \frac{(V_{2н} - V_1)}{j_2}.$$

Конечные координаты обоих автомобилей соответственно будут $S_{k1} = S_{н1} + V_1 t$;

$S_{k2} = S_{н2} + V_{2н} t - 0,5 j_2 t^2$, откуда

$$S_{k2} = S_{н2} + \frac{(V_{2н}^2 - V_1^2)}{2j_2} \text{ или}$$

$$\frac{2(S_{k2} - S_{н2})}{(V_{2н} + V_1)} = (V_{2н} - V_1) j_2 = t.$$

Конечная дистанция безопасности

$$S_{6к} = S_{k1} - S_{k2}$$

или

$$S_{6к} = \left[S_{i1} + \frac{2V_1(S_{k2} - S_{i2})}{(V_{2i} + V_1)} \right] - \left[S_{i2} + \frac{(V_{2i}^2 - V_1^2)}{2j_2} \right]. \quad (6)$$

Поскольку

$$S_{6н} = S_6(V_{2н}) = S_{н1} - S_{н2};$$

$$\Delta S_6 = S_{6н} - S_{6к} = S_{62}(V_{2н}) - S_{62}(V_1),$$

можем записать

$$\Delta S_6 = \frac{(V_{2н} - V_1)^2}{2j_2};$$

откуда

$$j_2 = \frac{(V_{2н} - V_1)^2}{2\Delta S_6} = \frac{V_{от}^2}{2[S_{62}(V_{2н}) - S_{62}(V_1)]}, \quad (7)$$

т.е. необходимое замедление автомобиля прямо пропорционально квадрату относительной скорости $V_{от}$ и обратно пропорционально прогнозируемому изменению безопасной дистанции ΔS_6 .

Отметим, что в конечной точке, когда скорости автомобилей равны и дистанция $S_{6к}$ достигла необходимой величины, замедление отсутствует.

Если $j_2 = 0$, то возникает неопределённость в расчёте. Устранение неопределённости осуществляют, считая, что задача выполнена несколько раньше, чем автомобиль приходит в конечную точку.

После достижения знаменателем некоторого малого значения $\Delta S_6 = \Delta S_{6\min}$ прекращается подача управляющего сигнала на замедление. То же осуществляют и для числителя, который достигает $V_{ом} = V_{ом\min}$ раньше, чем знаменатель, поскольку снижение $V_{ом}$ идёт по квадратичному закону. Отклонение другой координаты от заданного значения будет составлять ошибку в управлении.

Закон управления замедлением по существу предусматривает программное замедление, которое должно быть обеспечено исполнительными механизмами после выдачи командных сигналов и оставаться постоянным на всём пути торможения.

Реально автомобиль не может отработать программируемое по формуле (7) замедление, поскольку при математическом расчёте

предусматривается мгновенный выход автомобиля на заданное замедление. Снижение же скорости автомобиля начинается от момента начала работы фрикционной пары тормозного механизма. Этот этап процесса протекает в две фазы [6]. Первая фаза – нарастание замедления до установившейся величины. Вторая фаза – движение с установившимся замедлением. Таким образом, дистанция безопасности, при которой сформировано требование к величине $j_{2н}$, будет нарушена.

Бортовой компьютер должен формировать данные о $j_{2н}$, исходя из реальных возможностей автомобиля, который и предъявляет требования к тому, какой должна быть СПСА.

Чтобы исключить нарушение дистанции безопасности при реально существующем запаздывании в обработке команд управления, замедление автомобиля $j_{2н}$ должно быть больше замедления, определяемого по формуле (7). Величина превышения обрабатываемого замедления над расчётным по формуле (7) замедлением зависит от степени ΔS_{62} нарушения дистанции безопасности.

Это нарушение определяется как разность между действительной дистанцией S_d , измеряемой локатором, и расчётной дистанцией S_{62} , зависящей от текущей скорости движения автомобиля, управляемого СПСА, $\Delta S_{62} = S_{62}(V_2) - S_d$. По существу ΔS_{62} представляет собой положительную обратную связь по обработке текущей дистанции безопасности на любой скорости движения при её изменении от V_2 до V_1 .

Расчётное уравнение для $j_{2н}$, с учётом обратной связи по текущей дистанции безопасности, имеет вид

$$j_{2н} = \frac{(V_2 - V_1)^2}{2[S_{62}(V_2) - S_{61}(V_1)]} + W[S_{62}(V_2) - S_6], \quad (8)$$

где W – коэффициент, отражающий величину дополнительного замедления на каждый метр нарушения дистанции безопасности (c^{-2}).

Таким образом, значение $j_{2н}$, полученное по формуле (8), даст возможность оценить реальность угрозы нарушения дистанции безопасности между автомобилями при реально существующем запаздывании реакции системы.

Выводы

Для реализации обозначенного закона управления дистанцией между автомобилями в автоматическом режиме необходимы соответствующие исполнительные органы. Замедление, в зависимости от требуемой интенсивности, может осуществляться несколькими способами: уменьшением подачи топлива, применением рабочей тормозной системы, применением вспомогательной тормозной системы, применением горного тормоза-замедлителя, а также комбинацией всех указанных способов в различном сочетании.

Однако вышеуказанные системы машин не адаптированы к автоматизированному управлению. Только водитель наделён возможностью производить управленческие действия, реагируя на режимы и направление движения.

Поэтому необходимо, в соответствии с рассмотренной методикой формирования закона управления дистанцией между автомобилями в транспортном потоке (колонне), разработать алгоритм определения величины безопасной дистанции для информационно-индикаторной системы предупреждения столкновений. Непосредственное же управление дистанцией между автомобилями возлагается на водителя, который действует в соответствии с рекомендациями СПСА.

Литература

1. Юрчевский А.А. Синтез систем предотвращения столкновений автомобилей (теория, эксперимент, реализация): дисс. ... докт. техн. наук / А.А. Юрчевский. – М.: МАДИ, 1984. – 408 с.
2. Юрчевский А.А. Новое в обеспечении безопасности дорожного движения на основе систем предотвращения столкновений автомобилей. Экологические проблемы / А.А. Юрчевский. – М.: Научные труды НИИ энергоэкологических проблем автотранспортного ком-

- плекса Московского государственного автомобильно-дорожного института (технического университета), 1997. – С. 143–151.
3. Информационный интернет-проект «Безопасный автомобиль» / Безопасный автомобиль: интернет-журнал. – Режим доступа к журналу: <http://safety-car.info>.
 4. Применение радарных датчиков в автомобиле / М. Парнес // Компоненты и технологии. – 2008. – №1. – С. 41–44. – Режим доступа к журналу: www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2008_01_41.pdf.
 5. Юрчевский А.А. Определение безопасной дистанции между автомобилями для системы автоматического предотвращения столкновений / А.А. Юрчевский, Б.Ф. Еникеев; М-во автомобильной промышленности СССР. – М., 1986. – 26 с. – Деп. в НИИН автопроме 06.06.86, № 1374.
 6. Автотранспортні засоби. Гальмівні системи. Терміни та визначення. Тормозные системы автотранспортных средств. Термины и определения: ДСТУ 2919-94. – Чинний від 1996-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 26 с.
- Рецензент: О.В. Степанов, доцент, к.т.н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 16 ноября 2015 г.
-