

**Алгоритм моделирования событий,  
приводящих к чрезвычайным ситуациям при движении  
транспортных средств**

Слабко Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

**1. Введение**

При виртуальном проектировании мобильных машин и их систем управления необходимо моделировать события, приводящие к возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС) при движении мобильных машин в различных условиях движения. Чрезвычайная ситуация, приводящая к потере устойчивости или управляемости мобильной машины, может возникнуть при резком изменении свойств внешней среды под опорными элементами, при воздействии водителя (на тормозную педаль, на педаль акселератора, на рулевое управление и др.), состояния мобильной машины (внезапные неисправности деталей и агрегатов такие как, залипание педали акселератора, течь в тормозном суппорте и т.д.; техническое состояние, распределение веса груза в кузове) либо комбинации этих факторов. ЧС может привести к созданию аварийной ситуации на дороге; повреждению мобильной и/или мобильных машин; порче дорожных и придорожных сооружений; водитель и другие участники дорожного движения могут получить эмоциональный стресс и физические повреждения и т.д.

Во многих странах тратятся большие средства на исследование и создание САБ. Однако, для компьютерного моделирования различных ситуаций, приводящих к ЧС, и выбора оптимальных параметров САБ необходимо создать компьютерный полигон, автоматизирующий моделирование, анализ и оптимизацию САБ.

Рассмотрим некоторую классификацию чрезвычайных ситуаций.

**1. Классификация внешней среды с точки зрения возникновения ЧС:**

- по коэффициенту сцепления  $\mu$  ;
- по расположению относительно колес и бортов.

Вероятность возникновения ЧС зависит от поперечного и продольного коэффициентов сцепления. Низкий коэффициент сцепления, например на снежном покрытии, приводит к потере устойчивости мобильной машины при маневрировании, развороте, трогании/торможении и т.д. Высокий коэффициент сцепления повышает устойчивость мобильной машины.

Важное значение на причину возникновения ЧС оказывает внешняя среда относительно колес и бортов, т.е. различные коэффициенты сцепления относительно колес и бортов. При реализации тягового/тормозного момента на колесах мобильной машины с различным коэффициентом сцепления относительно бортов возникает разворачивающий момент, стремящийся развернуть автомобиль относительно вектора линейной скорости на определенный угол. Величина угла разворота будет напрямую связана с разностью фактического тягового/тормозного момента в контакте «колесо-дорога» между левым и правым бортом автомобиля.

## 2. Действия водителя, приводящие к возникновению ЧС.

При торможении колесной машины на дороге с коэффициентом сцепления  $\mu_{л.б.} < \mu_{п.б.}$ , когда водитель интенсивно давит педаль тормоза, возникает разворачивающий момент  $M_p$  относительно переднего правого колеса с большим коэффициентом сцепления  $\mu$ , стремящийся развернуть автомобиль по часовой стрелке относительно линейной скорости автомобиля  $v_a$  с заносом задней оси.

- события, происходящие с мобильной машиной при действии водителя в тяговом режиме.

Ведущие колеса на дорожном покрытии, характеризующимся одинаковым, но малым сцеплением, будут реагировать на избыточное открытие дроссельной заслонки посредством пробуксовки колес с обеих сторон. Оставшаяся сила тяги, содействующая движению автомобиля, затем сместится в сторону неустойчивого участка кривой зависимости сцепления от проскальзывания с одновременным уменьшением коэффициентов сцепления. Попытки разгона неподвижного или медленно движущегося автомобиля на грязевом, обледенелом или заснеженном «отполированном» дорожном покрытии будут результатом дальнейшего значительного уменьшения

коэффициента сцепления, сопровождающегося потерей устойчивости автомобиля, лишним расходом топлива, повышением рабочей температуры двигателя, повышением токсичности выхлопа. Цепь управления работой двигателя реагирует на такие условия посредством уменьшения проскальзывания во время движения до приемлемого уровня, соответствующего более высоким значениям коэффициента сцепления. [1]

### 3. Изменение исходных свойств мобильной машины.

На возникновение событий, приводящих к ЧС, оказывает влияние изменение свойств мобильной машины. Наиболее распространенная ситуация: неравномерный износ тормозных колодок с левой и правой стороны, техническая неисправность тормозной системы, неравномерный износ покрышек по бортам, неравномерное распределение веса груза в кузове и/или полуприцепе грузового автомобиля, что может привести к полной или частичной потере устойчивости и управляемости мобильной машины при торможении на криволинейном или прямолинейном участке дороги.

Возможные комбинации пп. 1-3.

## 2. Алгоритм моделирования ЧС

Для моделирования события, приводящего к возникновению ЧС необходимо сформировать внешнюю среду и задать функцию управления тяговым и тормозным моментом, характеризующую действия виртуального водителя.

Важно правильно сформировать внешнюю среду, т.к. вероятность возникновения ЧС зависит от сцепных характеристик мобильной машины. Поэтому для повышения вероятности возникновения ЧС необходимо сформировать внешнюю среду таким образом, чтобы коэффициент сцепления с левого и правого борта значительно отличались друг от друга  $\mu_n \gg \mu_n$  или были очень малы, т.е. находились в диапазоне  $\mu = 0,05..0,35$ . При этом необходимо учитывать действия водителя, т.е. управлять тяговым/тормозным моментом, так как ЧС может возникнуть при намеренном участии водителя, например, когда водитель давит на педаль тормоза, чтобы снизить скорость прямолинейного или криволинейного движения, остановить автомобиль или, когда водитель

увеличивает подачу топлива путем нажима на педаль акселератора, чтобы ускорить автомобиль; так и независимо от действий водителя, например автомобиль едет с постоянной скоростью и колеса с одного борта автомобиля попадают на маслянистое пятно.

Управление строится таким образом: при торможении подается тормозной момент, равный максимально реализуемому моменту в тормозном цилиндре, в интервал времени, когда коэффициент сцепления с левого и правого борта значительно отличаются между собой; при трогании/ускорении порождается тяговый момент, в интервал времени, когда внешняя среда имеет малый коэффициент сцепления или коэффициенты сцепления по бортам значительно отличными друг от друга.

Состояние внешней среды характеризуется коэффициентом сцепления  $\mu = f(\alpha(x, y))$  в каждой точке поверхности, описывающей данную внешнюю среду, где  $\alpha(x, y)$  – функция распределения типа внешней среды. Граничные условия:

$$\begin{cases} 0 \leq x \leq s \\ 0 \leq y \leq l \\ \gamma_i = \mu_{cp}; \quad i = \overline{1, n} \end{cases}$$

где  $s$  – длина профиля внешней среды;  $l$  – ширина профиля,  $\gamma_i$  – множество типов внешней среды,  $n$  – количество типов внешней среды с соответствующим коэффициентом сцепления  $\mu_{\bar{n}0}$  для каждого типа.

Начальные условия:

$$x_0 = 0, y_0 = 0;$$

$$\begin{cases} (x'_1, y'_1), (x''_1, y''_1) & , \gamma_i; \\ \dots & \\ (x'_m, y'_m), (x''_m, y''_m) & , \gamma_i, \\ \gamma'_i & \end{cases}$$

где  $(x'_m, y'_m), (x''_m, y''_m)$  – набор пар точек, задающих прямоугольную область моделируемого покрытия с типом

внешней среды  $\gamma_i, \gamma'_i$  – тип внешней среды, определяющий всю оставшуюся, непокрытую область.

Тяговый режим

$$U_{km} = \begin{cases} M_k = M_{\max}, & \text{если } f(\alpha(x_i, y_n)) \gg f(\alpha(x_j, y_n)), \\ & 0 \leq x_i \leq \frac{s}{2} \text{ и } \frac{s}{2} < x_j \leq s, n = \overline{1, l}, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

где  $U_{km}$  – функция управления тяговым моментом  $k$  – й оси мобильной машины.

Тормозной режим

$$U_k = \begin{cases} M_k = M_{\max}, & \text{если } f(\alpha(x_i, y_n)) \gg f(\alpha(x_j, y_n)), \\ & 0 \leq x_i \leq \frac{s}{2} \text{ и } \frac{s}{2} < x_j \leq s, n = \overline{1, l}, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

где  $U_{km}$  – функция управления тормозным моментом  $k$  – й оси мобильной машины.

### **Заключение**

Выработаны рекомендации по созданию условий, при которых возникает ЧС и как следствие теряется устойчивость и/или управляемость машины. Предложенный алгоритм позволит формировать необходимые условия, приводящие к ЧС при компьютерном моделировании. В результате такого моделирования, с учетом ЧС, станет возможным решить целый ряд актуальных проблем: повысить безопасность движения и курсовую устойчивость; экономить топливо в тяговом режиме; снизить рабочую температуру двигателя; снизить токсичность выхлопа.

### **Литература**

1. Автомобильный справочник BOSCH. Первое русское издание. – М.: Издательство «За рулем», 2002.
2. Нефедьев, Я.Н. Конструкции и характеристики электронных антиблокировочных систем зарубежных фирм. Обзорная информация. – М.: Научно-исследовательский институт информации автомобильной промышленности, 1978.