

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА АВАРИИ И ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОПАСНЫХ ДЛЯ ЖИЗНИ ТРАВМ

А.С. Воронов, Н.Н. Калигин

ОАО «МКБ Компас»

г. Москва

В статье рассматривается определение момента аварии и оценка вероятности получения опасных для жизни травм при ДТП. Рассматриваются теоретические и экспериментальные основы оценки тяжести аварии. На основе опыта разработки бортового устройства для системы экстренного реагирования «ЭРА-ГЛОНАСС» были предложены рекомендации по определению момента аварии и возможной тяжести травм при ДТП.

Ключевые слова: НІС, ASI, ASI₁₅, оценка вероятности опасных для жизни травм, определение момента аварии, «ЭРА-ГЛОНАСС», eCall, акселерометр.

Известно, что человек может потерять контроль над автомобилем. Это происходит, как по халатности водителя, так и в экстренных ситуациях. Вспомогательные системы управления (ESP и ABS) не всегда могут предотвратить ДТП. В России ежегодно в ДТП погибают около 27 000 человек. Спасти человеческую жизнь при ДТП чаще всего может только вовремя оказанная первая медицинская помощь, поэтому крайне важно оперативное информирование экстренных служб об аварии. Для решения этой задачи нужны единые стандартизованные критерии, позволяющие с большой вероятностью определить сам факт и тяжесть ДТП.

При тяжелой аварии человеческий организм испытывает перегрузки, которые не всегда может выдержать. Если человек при этом не пристегнут ремнем безопасности, то смертельный исход практически неминуем.

Для минимизации смертельных случаев идет разработка и внедрение систем экстренного реагирования. В России такой проект называется «ЭРА-ГЛОНАСС». Система предусматривает техническое и технологическое совмещение с европейским аналогом — eCall. Система экстренного реагирования работает следующим образом: сигнал об аварии передается по сетям сотовой связи к оператору «ЭРА-ГЛОНАСС», который пересылает информацию в оперативную службу «112». Сигнал об аварии передает абонентский терминал (бортовое устройство), к которому предъявлены определенные технические требования по времени определения аварии, отправке данных, энергопотреблению и др. Коллективом сотрудников Управления комплексных разработок ОАО «МКБ Компас»

был разработан прибор Navilad-ERA (рисунок 1), соответствующий общим техническим требованиям, предъявляемым к абонентским терминалам «ЭРА-ГЛОНАСС» [7].



Рисунок 1 – Абонентский терминал системы «ЭРА-ГЛОНАСС» Navilad-ERA

Долгое время учеными разных стран проводились исследования влияния перегрузок на организм человека. Изначально исследования проводили для авиации. Постепенно результаты стали актуальны и для автомобильной промышленности. Было установлено, что тяжесть травм после аварии зависит как от интенсивности полученного импульса, так и от продолжительности его приложения. Сотрясение мозга происходит в результате травмы мозга или от увеличения внутричерепного давления в момент удара. В движении головы участвуют как угловое, так и поступательное ускорение, поэтому есть возможность того, что вращение головы при аварии может привести к смещению мозга относительно костей черепа, однако исследования показали, что поступательное уско-

рение является наиболее важной составляющей, поэтому угловое ускорение часто не учитывают. Связь между линейным ускорением и внутричерепным давлением, исследование ускорения, необходимого для перелома лобной кости и другие данные об ускорении, которое приводит к сотрясению мозга, стали основой для появления кривой толерантности Уэйн-Стейт (рисунок 2). Критерием повреждения, согласно кривой толерантности, является перелом черепа в сочетании с сильным сотрясением мозга.

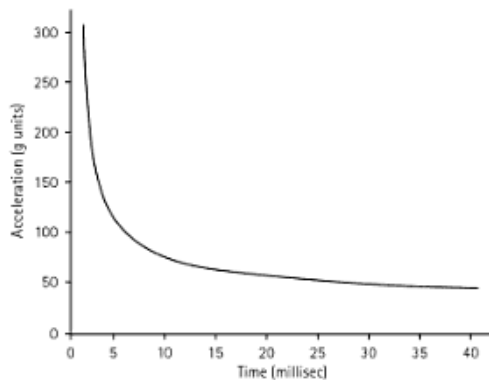


Рисунок 2 – Кривая толерантности Уэйн-Стейт

Сегодня эта кривая почти повсеместно используется в качестве меры риска травмы головы в испытаниях автомобилей на безопасность. Точки, лежащие ниже кривой, соответствуют случаю с низким риском травмы, точки, лежащие выше кривой, соответствуют случаю с высоким риском травмы [1].

Оценка тяжести повреждений является сложной задачей. Для того чтобы оценить тяжесть повреждений, были созданы различные шкалы: AIS, ISS, NISS, ICISS, ЦИТО, OIS, PTS и другие [8]. Они основаны на том, что всевозможные травмы человека можно разделить на группы по тяжести травмы и по травмированной области. У каждой шкалы свои методы расчета оценки тяжести. К примеру, AIS (Abbreviated Index Severity — сокращенная шкала повреждений) представляет собой систему анатомического кодирования для классификации и описания наиболее тяжелой травмы, не давая при этом комплексную оценку. Тяжесть травмы в данной шкале выражается баллами от 1 (легкие повреждения) до 5 (критические для жизни повреждения) в 6 областях тела (голова, позвоночник, грудь, живот, таз, конечности). После оценки каждого повреждения области, дают заключение по более высокому баллу, не

суммируя его с другими баллами [2]. AIS является одним из наиболее распространенных показателей тяжести травмы. Первая версия шкалы была опубликована в 1969. Существенные изменения происходили в 1976, 1980, 1985, 1990, 1998, 2005 и 2008 годах.

Во время движения автомобиля можно измерять его поступательное ускорение, поэтому появилась необходимость в показателе, зависящем от перегрузок и коррелирующим при этом с системами анатомического кодирования. Одним из наиболее распространенных показателей является HIC (Head Injury Criterion – критерий травмы головы). Метод вычисления HIC базируется на кривой Уэйн-Стейт и отображает вероятную оценку травм головы при ударе. Физический смысл критерия – это максимальный интеграл замедления на опасном участке, взятый на отрезке не более 36 мс с, определенным в ходе опытов, коэффициентом.

$$HIC = \max_{t_1, t_2} \left[(t_2 - t_1) * \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right)^{2.5} \right],$$

$$a(t) = \sqrt{a_x^2(t) + a_y^2(t) + a_z^2(t)}.$$

Разность t_2 и t_1 обычно не превышает 36 мс и варьируется от 15 до 36 мс. Пороговые величины для HIC могут отличаться в зависимости от величины отрезка интегрирования, возраста и комплекции пассажира. Значения HIC до 1250 соответствуют неопасным травмам, значения от 1250 до 1500 - говорят о повреждениях средней тяжести, HIC от 1500 и выше соответствует опасным и смертельным травмам. Наблюдается линейная статистическая взаимосвязь между HIC и тяжестью травмы для головы по сокращенной шкале повреждений [4].

Метод анализирует ускорение в момент аварии и позволяет найти временной интервал с наибольшим значением поглощенного замедления. Нахождение HIC сводится к поиску наибольшего значения функционала

$$H(t, d) = d \left(\frac{1}{d} \int_t^{t+d} a(\tau) d\tau \right)^{2.5},$$

что требует большой вычислительной мощности [3].

Вычисление HIC сравнительно дорогое, поэтому для определения аварии с высоким уровнем опасности используют ASI (Acceleration Severity Index – индекс степени опасности ускорения). ASI вычисляется следующим образом:

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА АВАРИИ И ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОПАСНЫХ ДЛЯ ЖИЗНИ ТРАВМ

$$ASI(t) = \sqrt{\left(\frac{\bar{a}_x(t)}{\hat{a}_x}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y(t)}{\hat{a}_y}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z(t)}{\hat{a}_z}\right)^2},$$

$$\bar{a}_x(t) = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_x(t) dt,$$

$$\bar{a}_y(t) = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_y(t) dt,$$

$$\bar{a}_z(t) = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_z(t) dt,$$

где $\hat{a}_x = 12 g$,
 $\hat{a}_y = 9 g$,
 $\hat{a}_z = 10 g$,
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Последние три формулы являются фильтром низких частот, который учитывает тот факт, что ускорение транспортного средства могут сообщаться телу пассажира через мягкие контакты, неспособные передавать высокие частоты. Расчет ASI проводится на основе действующих в центре тяжести ускорений, поэтому существенно расположение измерительного прибора относительно центра тяжести автомобиля. Из-за смещения прибора относительно центра тяжести и возникающих при этом угловых перемещений измеренные акселерометром ускорениями и ускорениями у центра масс могут отличаться. Если прибор используется для определения аварии ASI, то его стараются разместить вдоль продольной оси. При большой длине транспортного средства (в автобусах) стараются использовать два акселерометра. Акселерометры так же размещают вдоль продольной оси. Первый возле передних пассажирских кресел, второй возле задних пассажирских кресел. Используя шесть степеней свободы, восстанавливают ускорения в центре тяжести и проводят расчет индекса опасности.

Существует экспоненциальная корреляция между ASI и HIC [5] (рисунок 3). Эта зависимость позволяет либо ограничиться вычислением ASI для определения момента и тяжести аварии, либо использовать ASI, как вспомогательный для расчета HIC параметр, чтобы не проводить лишних вычислений.

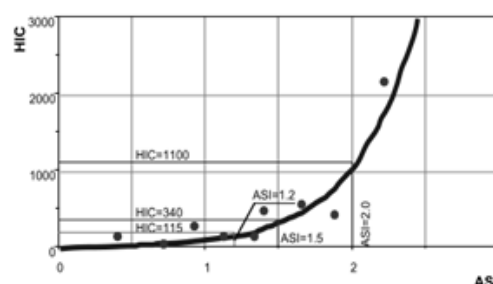


Рисунок 2 – Корреляция между ASI и HIC

Рекомендованным алгоритмом определения аварии в ГОСТ Р 54620-2011 для проекта «ЭРА-ГЛОНАСС» является ASI_{15} . Алгоритм основан на индексе степени опасности ускорения и вычисляется на временном отрезке 150 мс следующим образом:

$$ASI_{15} = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} ASI(t) dt \right\}_{max},$$

$$t_2 - t_1 = 15 \text{ мс}.$$

Выводы о работоспособности и применимости алгоритма были сделаны на основе численного моделирования. Вычисление ASI_{15} позволяет минимизировать риск ложных срабатываний по причине кратковременных сигналов высокой амплитуды (например, упругие колебания конструкции кузова при аварии), а также шумов [6] (рисунок 4).

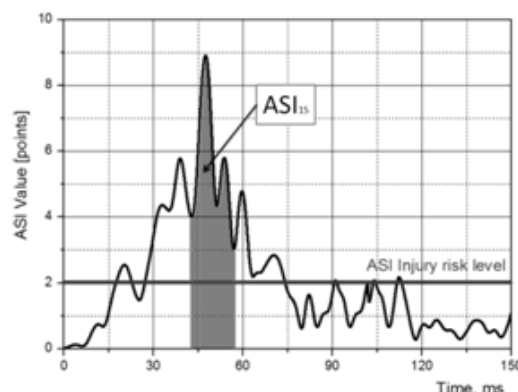


Рисунок 3 – Ускорение при аварии

Алгоритм создан для предотвращения ложных срабатываний, однако его использование может привести к отбрасыванию потенциально аварийных случаев.

При разработке устройства мы столкнулись с некоторыми особенностями алгоритма ASI_{15} . Данные с акселерометра предварительно проходят через фильтр CFC60. Дополнительно сам алгоритм ASI выполняет

фильтрацию $\bar{a}_x(t), \bar{a}_y(t), \bar{a}_z(t)$ за счет чего достигается корреляция ASI и HIC. Расчет значения ASI₁₅ на заданном временном интервале происходит за большее количество операций и требует больше памяти, чем расчет максимального значения ASI на том же интервале. Если бы критерий ASI₁₅ показывал существенную опасность для жизни пассажира во всех случаях, когда это делает ASI, то ASI₁₅ не имел бы смысла. Алгоритм ASI₁₅ отбрасывает часть случаев, при которых ASI выше допустимой величины. Эти случаи считаются ложными срабатываниями. В частности, в ходе физического моделирования ДТП на базе радиоуправляемой модели автомобиля мы сталкивались с ситуациями, когда удар был достаточной силы для возникновения опасности для жизни и здоровья пассажиров, а ASI₁₅ эти ситуации не детектировал. С учетом того, что корреляция ASI и HIC носит экспоненциальный характер, ASI₁₅ может занижить тяжесть возможной травмы по шкале AIS на 1-2 балла. Это происходит потому, что ASI₁₅ проводит подавление шумов уже после того, как был вычислен совокупный показатель ускорений по трем осям.

В требованиях к энергопотреблению устройства в ГОСТ Р 54620-2011 [7] после выключения зажигания потребление тока должно быть не более 1 мА. Датчик автоматической идентификации события ДТП при этом включен. Для снижения энергопотребления работать должен только акселерометр под управлением микроконтроллера.

Сравним алгоритмы ASI и ASI₁₅ по сложности и затратам памяти. Для вычисления индекса один раз нам нужно одновременно хранить информацию с акселерометра за 50 мс. Пусть m - число измерений, проведенных за 50 мс. Тогда нам понадобится $3(m - 1) + 2$ аддитивных операций, 9 мультипликативных и 1 операция извлечения корня. Для нахождения максимального значения ASI за 150 мс, понадобится 100 вычислений индекса. Дополнительные затраты памяти не потребуются. Алгоритм наиболее зависит от аддитивных операций, поэтому с такой задачей может справиться довольно слабый микроконтроллер из низкого ценового диапазона, который потребляет допустимое количество энергии. При вычислении ASI₁₅ нам понадобится либо хранить промежуточные значения ASI, по которым проводится интегрирование, либо вычислять их повторно. В первом случае возрастают требования к микрокон-

троллеру по памяти, во втором многократно возрастает количество операций. Появляется необходимость чаще вычислять корень, что в основном не поддерживается аппаратно в микроконтроллерах низкого ценового диапазона с минимальным значением тактовой частоты и минимальным энергопотреблением. Увеличение памяти или частоты микроконтроллера при ограниченном энергопотреблении приводит к удорожанию устройства.

Таким образом, если в рекомендациях ГОСТ Р 54620-2011 [7] ограничиться анализом максимального значения ASI и определять момент аварии по превышению этим индексом порога опасности, не произойдет случаев, когда занижается опасность аварии. Одновременно снижается стоимость бортового оборудования без потери функциональных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Reilly, R. Bullock, Head Injury: Pathophysiology and Management // 2005, p 32.
2. 8th Conference of the American Association for Automotive Medicine, Revision of the Abbreviated Injury Scale (AIS).
3. Henn H.-W., Crash Tests and the Head Injury Criterion // Teaching mathematics and its applications, Volume 17, No. 4, 1998, p 165.
4. Prasad P. and Mertz H., The Position of the United States Delegation to the ISO working group 6 on the use of HIC in the Automotive Environment // SAE technical Paper Series, 1985.
5. Dr. M. Shojaati, ASI Correlation between injury risk and impact severity index // IVT, ETH Zurich, 2005.
6. Домарацкий Я.А. Автомобильная система «ЭРА-ГЛОНАСС»: требования к системе и разработка алгоритма определения момента аварии для систем, устанавливаемых в конфигурации дополнительного оборудования // Интеграл. – Москва, 2012, – №1. – С.54-57.
7. ГОСТ Р 54620-2011 Система экстренного реагирования при авариях. Общие технические требования.
8. Мирошниченко А.Г., Марусанов В.Е., Семкичев В.А., Короткевич И.А. Шкалы оценки тяжести и перспективы их применения на скорой и неотложной медицинской помощи // Скорая медицинская помощь. – 2007. – №2. – С.46-56.

Калигин Николай Николаевич – инженер-программист ОРНРА, тел.: (495) 951-40-62, e-mail: nkaligin@ya.ru; **Воронов Александр Сергеевич** – к.т.н., ведущий инженер – программист ОРНРА.