

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ АТОПОЕЗДОВ С ЦИСТЕРНАМИ

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, А. М. КУЦЕПАЛОВ, В. В. КОМИССАРОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Согласно опубликованным в литературе статистическим данным среди всех аварий с автопоездами происшествия, связанные с опрокидыванием, составляют 4 % случаев. Но, несмотря на относительно небольшое число таких аварий, материальный ущерб от них превышает 12 %. К тому же на аварии с опрокидыванием приходится около 60 % от всех происшествий, в которых водители получают серьезные травмы.

Встречающиеся при эксплуатации транспортных средств случаи опрокидывания автопоездов с цистернами приводят к большому ущербу для окружающей среды. Основной причиной этого является низкая устойчивость к опрокидыванию полуприцепа-цистерны.

Основным параметром, определяющим устойчивость автомобилей при опрокидывании, является допускаемое значение поперечного ускорения, выраженное в долях ускорения свободного падения g (статический порог опрокидывания). Почти все легковые автомобили имеют пороговое значение названного ускорения большее, чем $1 g$, у легких грузовиков, фургонов оно лежит в пределах от $0,8$ до $1,2 g$. В то же время порог опрокидывания тяжелого полностью загруженного грузовика часто оказывается значительно ниже, чем $0,5 g$.

Так, для автопоезда, состоящего из трёхосного автомобиля-тягача и двухосного полуприцепа, в случае полного использования грузоподъёмности и высокой плотности перевозимого груза, порог опрокидывания близок к $0,5 g$. Если же плотность груза, занимающего весь объём кузова, мала, то допускаемое поперечное ускорение снижается до $0,25 g$. Автомобили-лесовозы имеют порог от $0,23$ до $0,31 g$, но у некоторых транспортных средств, в частности цистерн, порог опрокидывания ниже $0,2 g$.

Дороги проектируются с таким расчётом, чтобы при максимально допустимой скорости движения поперечное ускорение не превышало $0,17 g$. При небольших отклонениях от номинального режима движения, вызванных, например, перестроением в другой ряд, может возникнуть боковое ускорение $0,25 g$, а это может привести к опрокидыванию транспортного средства.

Опасность опрокидывания автомобиля с прицепом связана с тем, что водителю очень трудно при движении определить момент начала опрокидывания. Малые углы поворота полуприцепа водитель не ощущает, если же амплитуда колебаний становится заметной, их уже не удастся остановить. Этот факт наиболее существен при нежёстком соединении тягача с полуприцепом.

В большинстве случаев перевозимый груз жёстко закреплён на транспортном средстве. Если же перевозимый груз может перемещаться относительно автомобиля, то его относительное движение может способствовать опрокидыванию. Наиболее характерными являются следующие примеры: частично заполненные жидкостью цистерны, фургоны-рефрижераторы с подвешенным мясом, транспортировка домашнего скота. В названных случаях на динамику автомобилей существенно влияют относительные перемещения грузов в продольном и боковом направлениях.

Характер движения жидкости внутри цистерны транспортного средства может быть очень сложным и зависит от размеров и формы цистерны, от массы и вязкости перевозимой жидкости и от выполняемого манёвра. При движении автомобиля, перевозящего жидкость, по затяжному повороту жидкость отклоняется под действием центробежной силы инерции в сторону, сохраняя плоскую поверхность, перпендикулярную к равнодействующей силы тяжести и центробежной силы. В цистерне с круглым сечением центр тяжести жидкости при повороте автомобиля перемещается по дуге окружности, центр которой лежит в центре тяжести котла.

При других формах поперечных сечений цистерн движение жидкости намного сложнее анализировать даже при простых манёврах. В частности, тяжело описать движение центра масс жидкости в функции поперечного ускорения. Так, например, в прямоугольном резервуаре даже при малом поперечном ускорении жидкость смещается к боковой стенке котла, а центр кривизны траектории ее центра масс оказывается намного выше центра резервуара. Этот эффект аналогичен случаю движения автомобиля с высоким положением центра масс.

В цистернах круглого поперечного сечения центр тяжести расположен высоко, поэтому для уменьшения поперечных сил и снижения порога опрокидывания в настоящее время нашли широкое

применение цистерны, имеющие эллиптическую и близкую к прямоугольной формы. Заметим, что для круглой цистерны характерно снижение порога опрокидывания при увеличении объёма, занимаемого грузом. Оно вызвано увеличением момента сил инерции жидкости относительно ребра опрокидывания. Для автопоезда с цистерной прямоугольной формы наиболее высока вероятность опрокидывания при полном и пустом резервуарах.

При переходных манёврах (резкий поворот) появляются дополнительные динамические эффекты. Это связано с тем, что при быстром входе в поворот вследствие перемещения жидкости внутри котла ее центр тяжести перемещается к боковой стенке котла, при этом появляются силы инерции относительного движения. Здесь существенное значение имеет время, затраченное на вход в поворот. При очень быстром повороте амплитуда колебаний жидкости может увеличиться в несколько раз, а при повторном манёвре может превысить и это значение.

При перевозке жидких грузов довольно часто автомобилям приходится двигаться с частично заполненной цистерной. Характерный случай – завоз автомобилем бензина или дизельного топлива на несколько заправочных станций. Возникает вопрос о том, какие меры могут быть приняты для уменьшения чувствительности автомобиля и, следовательно, снижения потенциального риска при использовании этих транспортных средств? Первый шаг – это выбор автомобиля для перевозки груза, имеющего большую статическую устойчивость. Однако возможна модернизация существующих цистерн.

Обычно для транспортировки наливных грузов используют транспортное средство, имеющее цистерну с поперечными перегородками. Однако поперечные перегородки предназначены для успокоения лишь продольных колебаний жидкости. Поэтому для снижения боковых перемещений жидкости, влияющих на устойчивость, целесообразна установка продольно расположенных перегородок.

Другой метод увеличения устойчивости частично загруженного автомобиля при движении на повороте состоит в разделении всего объёма цистерны на секции. Идеальный вариант – когда секция полностью высвобождается при доставке груза, в этом случае автомобиль никогда не подвержен воздействию движущейся жидкости. Единственное ограничение при перевозке таким способом состоит в необходимости специального планирования маршрута перевозки. Если же какая-либо секция не высвобождена полностью, имеет место снижение устойчивости, но оно незначительно из-за небольшой массы перемещающейся жидкости.