

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АВТОЦИСТЕРНЫ С ЖИДКИМ ГРУЗОМ ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

Е.А. Сапрыкин¹, В.И. Анциферова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Рассмотрены принципы расчёта запаса устойчивости и момента опрокидывания для обеспечения безопасности дорожного движения большегрузного транспортного средства на криволинейных участках дорог. Рассмотрены два этапа поведения пожарной автоцистерны: при замедленном скольжении в заносе и ударе колёс автомобиля о препятствие с последующим опрокидыванием.

Ключевые слова: автоцистерна, жидкий груз, поперечная устойчивость, момент опрокидывания, коэффициент сцепления, реакция опоры, момент заноса, центр тяжести.

STUDY OF THE BEHAVIOR OF TANK TRUCK WITH LIQUID CARGO IN CURVED MOVEMENT

E.A. Saprykin¹, V.I. Antsiferova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The principles of calculating the stability margin and overturning moment to ensure the safety of road traffic of a heavy-duty vehicle on curved road sections are considered. Two stages of the behavior of a fire-fighting tanker are considered: during slow sliding in a skid and the impact of the car's wheels on an obstacle, followed by overturning.

Keywords: tank truck, liquid cargo, lateral stability, overturning moment, adhesion coefficient, support reaction, skidding moment, center of gravity.

Величина опрокидывающего момента жидкости прямо пропорциональна величине амплитуды ее колебания, поэтому можно принять, что отношение соответствующих величин опрокидывающих моментов жидкости тоже будет постоянным [1-6].

Для вычисления критической скорости грузовика в повороте была разработана система, где можно быстро решить задачу и получить график с результатом, на котором будет отображаться зависимость скорости от угла поворота грузовика, при условии его загруженности жидким грузом [8].

Как видно из результатов вычисления максимальной (критической) скорости для грузовика при движении по криволинейным участкам дороги с жидким грузом, то скорость убывает не линейно по отношению к углу поворота.

Можно сравнивать различные конфигурации автопоездов, выбирая из базы данных модель тягача (характеристики которых внесены в БД предварительно), модель полуприцепа (ПП) или цистерны (ППЦ), указывая количество груза (в тоннах, 45 тонн - максимум) и выбирая погодные условия (дождь, снег, гололёд, высокие температуры), если не выбирать – будет производиться расчёт с идеальными погодными условиями (температура - 24С°, скорость ветра – 1–4 м/с., без осадков) [9].

На рисунке 1 отображён результат работы приложения, где построен график зависимости скорости от угла поворота грузовика. Данные представлены в таблице 1.

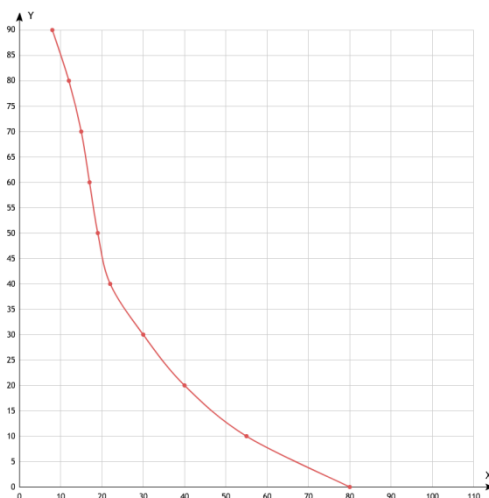


Рисунок 1 – Приложение для вычисления максимальной (критической) скорости грузовика

Таблица 1 – Критическая скорость для грузовика

Угол поворота, градус°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Максимальная скорость, км/ч	80	55	40	30	22	19	17	15	12	8

Методами имитационного моделирования доказана работоспособность и эффективность разработанного приложения для вычисления максимальной (критической) скорости для грузовика при движении по криволинейным участкам дороги со статичным грузом.

Поведение грузовика при поворотах транспортирующего жидкий груз (вода, молоко, бензин и т.д.) существенно отличается от управляемости автомобиля со статичным грузом. Чтобы определить, насколько оно различается нужно произвести сравнение зависимости критической скорости грузовика в повороте от угла поворота, при условии того, что масса груза и процент загрузки полуприцепа и цистерны.

На рисунке 2 отображён результат вычислений, где построен график зависимости скорости от угла поворота грузовика. Данные представлены в таблице 2.

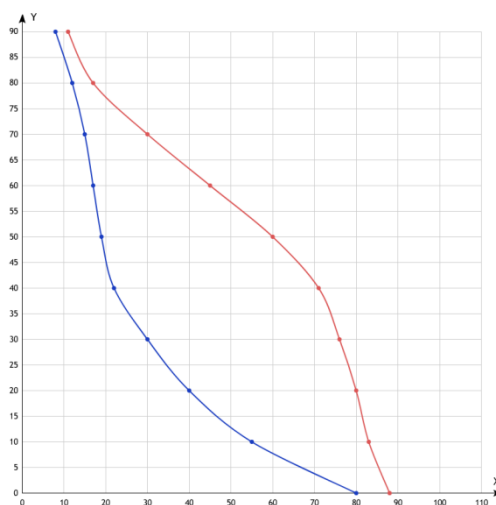


Рисунок 2 – График скорости для грузовика

Таблица 2 – Критическая скорость для грузовика

Угол поворота, градус°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Максимальная скорость КАМАЗ 6460 с ТОНАР R4-16V, км/ч	88	83	80	76	71	61	45	30	17	11
Максимальная скорость КАМАЗ 6460 с GT-50, км/ч	80	55	40	30	22	19	17	15	12	8

Сравнив оба показателя критической скорости грузовика со статичными грузами и жидкими в одинаковых условиях и с примерно одинаковой загрузкой, получаем результат:

1) При движении по прямой (угол поворота 0°) один и тот же грузовик имеет разную максимально разрешённую скорость, так как полуприцеп намного легче цистерны и центр тяжести остается неизменным при поворотах, торможении и разгоне, а цистерна заполнена не полностью (на 88,9%), что позволят жидкости раскачивать цистерну. Скорость со статичным грузом выше на 9,9%;

2) При движении в повороте 10° максимально возможные скорости начинают сильно различаться – это говорит о том, что в грузовике с цистерной жидкость начинает раскачиваться и смещать центр тяжести, который находится и так очень высоко. Скорость со статичным грузом выше на 33,7% чем с жидкостью;

3) При движении в повороте 20° критическая скорость с сухим грузом уменьшается незначительно, в сравнении с жидкостью. Скорость со статичным грузом выше на 50%;

4) При движении в повороте 30° скорость со статичным грузом выше на 60,5% чем с жидкостью;

5) При движении в повороте 40° наблюдается самый большой промежуток максимально возможной скорости 76 км/ч для статических грузов и 30 км/ч для жидкости. Скорость со статичным грузом выше на 69%;

6) При движении в повороте 50° разрыв в скорости начинает уменьшаться. Скорость со статичным грузом выше на 68,8%;

7) При движении в повороте 60° скорость со статичным грузом выше на 62,2%;

8) При движении в повороте 70° скорость со статичным грузом выше на 50%;

9) При движении в повороте 80° скорость со статичным грузом выше на 29,4%;

10) При движении в повороте 90° скорость со статичным грузом выше на 27,3%.

Эти результаты говорят о том, что жидкий груз начинает раскачивать и смещать центр тяжести, что заставляет его двигаться намного медленнее. Однако после поворотов, угол которых равен $40-50^\circ$, различия начинают уменьшаться. На грузовик со статичным грузом начинает сильнее воздействовать центробежная сила из-за высокой скорости, когда в свою очередь грузовик с цистерной уже замедлился и начинает терять скорость меньше.

На рисунке 3 отображён результат вычислений, где построен график зависимости скорости от угла поворота грузовика. Данные представлены в таблице 3.

Самым опасным при перевозке жидкостей считается её заполнение на 75%, что создаётся самое большое возмущение жидкости в цистерне и заставляет очень сильно снижать скорость в сравнении со статичными грузами, где центр тяжести зафиксирован.

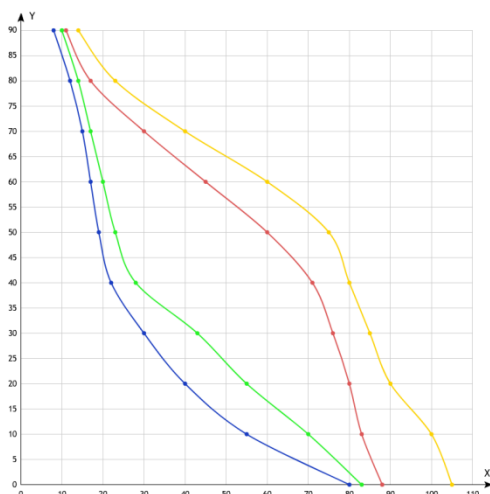


Рисунок 3 – График с критическими скоростями для выбранных конфигураций
 Таблица 3 – Критическая скорость для грузовика.

Угол поворота, градус ^o	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Максимальная скорость КАМАЗ 6460 с ТОНАР R4-16V, км/ч	88	83	80	76	71	61	45	30	17	11
Максимальная скорость КАМАЗ 6460 с GT-50, км/ч	80	55	40	30	22	19	17	15	12	8
Volvo VNL780 с Schmitz SCS EB, км/ч	105	100	90	85	80	75	60	40	23	14
Volvo VNL780 с АЗХМ ППЦ-45, км/ч	83	70	55	43	28	23	20	17	14	10

На основании полученных зависимостей можно сделать выводы [7]:

1. на устойчивость против заноса автоцистерны оказывают влияние: скорость движения грузовика при движении в повороте; радиус поворота; коэффициент сцепления колеса; степень износа протектора шины.

2. на устойчивость против опрокидывания оказывают влияние: колея автомобиля; высота центра тяжести автомобиля; высота центра крена поддрессоренной массы; суммарная угловая жесткость подвески автомобиля; величина горизонтального и вертикального смещения центра тяжести жидкого груза; скорость бокового движения при заносе автомобиля в момент удара о препятствие.

Список литературы

1. Аксенов, В.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для обучения и тестирования водителей / В.П. Аксенов,

Т.П. Новикова // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 4-11.

2. Котов, П.А. Конструктивные аспекты вещественных моделей движения по инерции / П.А. Котов // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 13-17.

3. Кулаковский, Б.Л. Исследование физической сущности поведения жидкого груза и его влияния на долговечность цистерны и устойчивость пожарного автомобиля / Б.Л. Кулаковский, В.В. Лахвич, Е.Г. Казутин // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2018.– № 1. – С. 103-115.

4. Кулько, П.А. Прогнозирование показателей поперечной устойчивости автомобилей на поворотах / П.А. Кулько, А.П. Кулько, Т.А. Галицына // Известия волгоградского государственного технического университета. Серия: наземные транспортные системы. – 2010.– Т. 3, № 10. – С. 58-61.

5. Анализ существующих подходов для оценки транспортных логистических компаний со средствами GPS-навигации / В.В. Лавлинский, С.И. Лыков, А.И. Лыков, В.Ю. Обоимова // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 57-63.

6. Лавлинский, В.В. Теоретические основы формирования моделей и методов взаимодействия информационных процессов / В.В. Лавлинский, И.И. Струков // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 2. – С.31-37.

7. Оксюта, О.В. Разработка математической модели оптимального функционирования транспортно-логистического комплекса / О.В. Оксюта, В.А. Коротких // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 55-66.

8. Плиев, С.Х. Расчёт двухосной колесной машины на устойчивость против опрокидывания. / С.Х. Плиев. // Известия горского государственного аграрного университета. – 2015.– №1 – С. 124-127.

9. Сапрыкин, Е.А. Математическое и алгоритмическое описание оптимального размещения продукции по платформе транспортного средства / Е.А. Сапрыкин, М.В. Лисицкая, В.И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 47-57.