

АНАЛИЗ МЕТОДИК УПРАВЛЯЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ МАЗ

А. П. КАРЛЮК

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220012, e-mail: karlyuk.aleksey@yandex.ru

(Поступила в редакцию 15.10.2024)

В ходе исследования были изучены методы анализа управляемости и устойчивости грузовых автомобилей. Проведен краткий обзор результатов, который позволяет получить ключевые выводы. Установлено, что различные параметры грузового автомобиля, такие как нагрузки, геометрия кузова и параметры подвески, влияют на его способность двигаться целенаправленно. Эти факторы определяют не только безопасность эксплуатации, но и эффективность работы транспортных средств в различных дорожных условиях. Результаты исследования обуславливают необходимость комплексного подхода к проектированию и эксплуатации грузовых автомобилей для обеспечения их надежности и управляемости. На основании результатов исследования становится ясно, что различные параметры грузовых транспортных средств, такие как перевозимый груз, габаритные размеры и настройка подвески, оказывают существенное влияние на способность грузового автомобиля прямолинейному движению. Эти факторы влияют не только на безопасность эксплуатации, но и на общую эффективность транспортных средств в различных дорожных условиях. Поэтому необходим комплексный подход при проектировании и эксплуатации грузовых транспортных средств для обеспечения их надежности и управляемости. В результате становится очевидной необходимость комплексного подхода к проектированию и эксплуатации грузовых транспортных средств для обеспечения их надежности и управляемости. Размеры и подвеска играют решающую роль в способности грузовых автомобилей двигаться прямолинейно. Эти факторы влияют на безопасность эксплуатации и эффективность применения мер на дорогах, поэтому при разработке необходимо использовать комплексный подход и использовать грузовые автомобили для обеспечения их устойчивости и устойчивости.

Ключевые слова: *грузовой автомобиль, устойчивость и управляемость, стабилизация управляемых колес, движение по прямой линии.*

The study examined the methods of truck handling and stability analysis. A brief overview of the results is provided, which allows us to draw key conclusions. It was found that various truck parameters, such as loads, body geometry and suspension parameters, affect its ability to move purposefully. These factors determine not only the safety of operation, but also the efficiency of vehicles in various road conditions. The results of the study necessitate an integrated approach to the design and operation of trucks to ensure their reliability and controllability. Based on the results of the study, it becomes clear that various truck parameters, such as the cargo carried, overall dimensions and suspension settings, have a significant impact on the straight-line ability of a truck. These factors affect not only the safety of operation, but also the overall efficiency of vehicles in various road conditions. Therefore, an integrated approach is needed in the design and operation of trucks to ensure their reliability and controllability. As a result, it becomes obvious that an integrated approach is needed to the design and operation of trucks to ensure their reliability and controllability. Dimensions and suspension play a decisive role in the straight-line ability of trucks. These factors affect the safety of operation and the effectiveness of the measures on the roads, so it is necessary to use an integrated approach during development and use trucks to ensure their stability and stability.

Key words: *truck, stability and controllability, stabilization of the steering wheels, driving in a straight line.*

Введение

В литературе уделяется значительное внимание устойчивости и управляемости как одному из ключевых эксплуатационных факторов автомобиля. Различные авторы предлагают различные определения этих понятий и применяют разнообразные методики исследования, а также множество оценочных показателей для численной оценки этих характеристик [1].

Актуальность нашей работы обусловлена быстрым развитием автомобильного транспорта по всему миру, что приводит к увеличению интенсивности движения и усложнению управления на дорогах. Сегодня одной из главных задач является необходимость обеспечить еще на этапе проектирования автомобилей такие характеристики управляемости и устойчивости, которые гарантируют необходимый уровень безопасности в условиях современного динамичного транспортного потока.

Исследования В. П. Ветчинкина и Е. А. Чудакова [1] в области управляемости и устойчивости автомобилей были посвящены теории криволинейного движения. Они рассматривали определение сил инерции, боковых и нормальных реакций, действующих на двухосный автомобиль с одной передней управляемой осью при постоянной скорости. В этих работах и последующих исследованиях колесо и все детали рулевого управления рассматривались как жесткие. Термины «управляемость» и «устойчивость» не упоминались или их определения не приводились.

Г. В. Зимелев отмечает [2], что устойчивость автомобиля заключается в его способности двигаться по различным дорогам без опрокидывания в продольном и поперечном направлениях, а также без бокового скольжения колес. Он предлагает уникальную методику определения сил, воздействующих

на автомобиль при изменении углов поворота управляемых колес и скорости движения. Эта методика основана на дальнейшем развитии работ Н. Е. Жуковского.

Следовательно, основной целью повышения энергетической эффективности теплотворной способности топлива является дезагрегация молекулярных кластеров с целью извлечения малых молекул.

Позднее появились исследования, которые рассматривали устойчивость автомобилей с точки зрения общей теории устойчивости, разработанной А. М. Ляпуновым. В работах Н. Е. Жуковского [3] для решения задач устойчивости применялся метод линеаризации, при котором правые части уравнений движения разлагались в ряды, и члены более высокого порядка отбрасывались. Это приводило к системе линейных уравнений с постоянными коэффициентами, известной как система уравнений первого приближения. Метод, предложенный А. М. Ляпуновым для решения задач устойчивости движения, позволил найти функции с особыми свойствами, что позволило не только определить пределы применимости устойчивости по первому приближению, но и решить более сложные задачи.

Способность АТС совершать движение по задаваемым траекториям оценивается двумя свойствами: управляемостью и устойчивостью.

Управление автомобилем определяется его указанными параметрами движения под управлением водителя. Это свойство тесно связано с устойчивостью. Во время движения автомобиля действуют различные случайные силы, вызванные воздействиями колес на неровности дорог, наклон дорог, инерция, другие аэродинамические силы и факторы. Эти силы и их воздействие на движение называется возмущающими. Различные автомобили по-разному реагируют на эти возмущения.

Ваше определение устойчивости автомобиля очень подробное и точное. Вы правильно заметили, что устойчивость и управляемость инициативы и инициативы включают конструктивные параметры, такие как:

- компоновка автомобиля, габариты, масса, колея, база, координаты центра массы;
- точки нейтральной поворачиваемости;
- расположение сцепного устройства на тягаче и прицепе;
- распределение массы по осям, массе прицепного звена;
- характеристики наличия рулевого управления (размеры рулевого колеса, передаточное число, усилителя);
- характеристики подвески (упругие элементы, амортизаторы, стабилизаторы);
- конструкция и характеристики шин (жесткость, сцепление);
- конструкция управляемого моста (балка, шкворни, поворотные цапфы, боковые установки колес).

К основным технологиям активной защиты сопротивления относятся:

- Электронная система восстановления (ESP):

Использует датчики для идентификации движения автомобиля и определения начала заноса или потери устойчивости.

Автоматически применяется тормозное усилие к трем колесам, чтобы скорректировать траекторию и восстановить устойчивость.

Также можно регулировать подачу топлива на второй крутой момент и предотвращать занос.

- Система распределения тормозных сил (EBD):

Анализирует данные от датчиков ABS и индивидуально восстанавливает тормозные усилия на каждом колесе.

Это помогает сохранить управляемость, если некоторые колеса опуститься на скользкую поверхность.

- Система контроля тяги (ASR):

Предотвращает пробуксовку ведущих колес при разгоне, особенно на скользких поверхностях.

Регулирует подачу топлива и тормозит пробуксовочные колеса, чтобы обеспечить надежное сцепление.

- Система контроля устойчивости при прокидывании (RSC):

Используется на внедорожниках и автомобилях высокого уровня.

Отслеживает риск опрокидывания и принимает меры, например, ограничение крутящего момента или применение торможения, чтобы предотвратить опрокидывание.

Таким образом, современные автомобили оснащены комплексами электронных систем, которые активно мешают управлению, чтобы обеспечить устойчивость и безопасность движения в различных дорожных условиях.

Вот основные преимущества использования систем ESP, EBD, ASR, RSC для водителей:

1. Повышение безопасности вождения:

Система ESP (электронная система снижения) помогает предотвращать заносы и управлять автомобилем в крайнем случае, тем самым снижая риск аварии.

EBD (электронное управление тормозной стадией) оптимизирует тормозные усилия на каждом колесе, обеспечивая более эффективное торможение и сокращение тормозного пути.

ASR (противобуксовочная система) пробуждает ведущие колеса на скользких поверхностях, улучшает тягу и управляемость.

RSC (система контроля курсовой устойчивости) помогает избежать заносов и сохранить контроль над автомобилем при резких маневрах.

2. Улучшение управляемости:

Эти системы повышают устойчивость и управляемость автомобиля, особенно на скользких или неровных дорогах, что делает вождение более уверенным и комфортным для водителя.

Снижение износа шин и компонентов:

Предотвращающая блокировка колесной системы и пробуксовка, системы ABS, EBD и ASR обеспечивают более равномерному износу шин.

Это также снижает нагрузку на трансмиссию и другие компоненты, увеличивая их ресурс.

3. Помощь в экстренных ситуациях:

Когда водитель вынужден экстренно совершить торможение или маневр, эта система позволяет сохранить контроль над автомобилем и избежать аварии.

В целом, использование ESP, EBD, ASR, RSC и других электронных систем безопасности значительно повышает безопасность вождения, повышает функции управления автомобилем и снижает риск аварийной ситуации, что делает поездки более комфортными и уверенными для водителей.

Принципиальное же различие между понятиями управляемости и устойчивости заключается в том, что управляемость – это способность автомобиля выходить на задаваемую водителем траекторию движения, а устойчивость – это способность сохранять движение по заданной траектории при действии возмущающих сил. Поэтому влияние одних и тех же параметров автомобиля на устойчивость и управляемость может быть различным. Например, с увеличением массы автомобиля увеличивается его момент инерции, а увеличение момента инерции относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс, улучшает устойчивость при прямолинейном движении автомобиля и ухудшает управляемость при поворотах. То есть, выбор параметров автомобиля, обеспечивающих наилучшие характеристики управляемости и устойчивости, является задачей оптимизации.

Анализ особенностей криволинейного движения АТС в различных условиях позволяет разделить эти режимы на два вида:

1. Повороты автомобиля с малыми радиусами и невысокими скоростями движения;

2. Повороты автомобиля с большими радиусами и высокими скоростями.

Первый режим движения обычно относят к свойствам маневренности (поворачиваемости), второй – к управляемости. При повороте автомобиля с малыми скоростями возникающие центробежные силы незначительны, поэтому при рассмотрении свойств маневренности действие боковых сил на автомобиль не учитывается. При высоких скоростях движения боковые силы достигают значительной величины, поэтому их обязательно необходимо учитывать при рассмотрении свойств управляемости.

Движение автомобиля как механической системы может определяться траекторией какой-либо ее точки (направляющая точка), углом поворота некоторой прямой, связанной с автомобилем, относительно выбранной системы координат и перемещениями отдельных элементов автомобиля относительно направляющей точки.

При теоретическом рассмотрении вопроса управляемости одиночного автомобиля в качестве направляющей точки удобнее всего выбрать центр его масс, а для автопоезда – центры масс его звеньев. Зная ускорение центров масс, можно непосредственно определить силы инерции, действующие на систему.

При изучении управляемости в первом приближении можно пренебречь перемещением отдельных масс автомобиля или звеньев автопоезда относительно их центров масс за исключением поворотов управляемых колес или мостов. При более детальном рассмотрении управляемости это все следует учитывать, а также следует учитывать еще и повороты кузова в поперечной и продольной плоскостях и повороты звеньев а/п относительно тягача.

Поворот ТС может осуществляться за счет поворота управляемых колес относительно оси (шкворня) (передних или задних, или тех и других), поворота тележки, подводом избыточного тяго-

вого или тормозного моментов к колесам одного из бортов автомобиля, складыванием звеньев ТС. У подавляющего большинства автомобилей изменение траектории движения осуществляется в результате поворота передних управляемых колес. В результате взаимодействия шин с дорогой происходит изменение курсовых и боковых параметров автомобиля. Характер функциональной зависимости между управляющими воздействиями и реакциями на них автомобиля может служить оценкой его свойств как управляемого объекта.

Оценка управляемости ТС может быть произведена как экспериментальными методами, так и теоретически.

При движении автомобиль может иметь траекторные и курсовые отклонения. Траекторное отклонение – это отклонение вектора скорости автомобиля от заданного направления. Курсовое отклонение – это отклонение продольной оси автомобиля от направления траектории движения. В соответствие с этим принято различать траекторную и курсовую управляемость и устойчивость автомобиля.

Для оценки управляемости и устойчивости АТС у нас в стране в настоящее время используется государственный стандарт ГОСТ Р 51266-99, а также используются отраслевые стандарты и рабочие документы: ОСТ 37. 001. 487 «Управляемость и устойчивость автомобилей. Общие технические требования»; ОСТ 37. 001. 471 – 88 «Управляемость и устойчивость АТС. Методы испытаний»; РД 37. 001. 005 – 82 «Методика испытаний и оценки управляемости и устойчивости АТС».

Этими документами устанавливаются оценочные показатели управляемости АТС, методика определения и обработки результатов испытаний. Оценочные показатели управляемости следующие:

1. устойчивость управления траекторией движения, баллы;
2. устойчивость курсового управления, баллы;
3. устойчивость управления траекторией при торможении, баллы;
4. устойчивость курсового управления при торможении, баллы;
5. предельная скорость выполнения маневра (змейка, вход в поворот, «переставка», «двойная переставка», торможение на повороте);
6. скорость начала снижения устойчивости управления траекторией движения;
7. скорость начала снижения устойчивости курсового управления.

Показатели 1–4 определяются в эксплуатационных режимах движения и с максимальными скоростями на специальных дорогах и со скоростями, разрешенными ПДД, на дорогах 1-й категории. Оценку дают в баллах по субъективным ощущениям испытателей по специальной шкале. Средняя комплексная оценка управляемости сравнивается с нормативными значениями. Остальные показатели определяют при испытаниях на критических режимах движения. Испытания заключаются в выполнении заданных разметкой соответствующих маневров с постоянно увеличивающейся скоростью. Кроме перечисленных показателей, для оценки управляемости используется целый ряд других, из которых могут быть выделены следующие:

1. Характеристика статической траекторной управляемости.
2. Характеристика «рывок руля».
3. Характеристика «выход из поворота».
4. Характеристика легкости рулевого управления.

Легкость рулевого управления оценивается по силе, прикладываемой к рулевому колесу, которая при $J_u = 4 \text{ м/с}^2$ и скоростях движения 40 и 60 км/ч должна быть в пределах 60...120 Н. Нижний предел усилия определен пределом различимости, ниже которого водитель теряет ощущение взаимосвязи между поворотом управляемых колес и усилием на рулевом колесе. Верхний предел связан с интенсификацией физической усталости водителя при превышении определенного усилия на рулевом колесе. В соответствии с ГОСТ 21398 – 75 максимальное усилие на рулевом колесе при подобных испытаниях:

- 110 Н – для легковых автомобилей;
- 245 Н – для грузовых автомобилей без усилителя на пути не более 17 м;
- 120 Н – для грузовых автомобилей с усилителем на пути не более 11 м;
- 490 Н – в случае прекращения действия усилителя на пути не более 17 м;
- 115 Н – для автобуса при наличии усилителя в заданных условиях.

Оценочным показателем является скорость автомобиля в момент входа в поворот, предельная по траекторной управляемости на повороте. Нормируется параметр при радиусах поворота 30 и 60 м по внутренней бровке поворота. Для грузовых автомобилей при радиусе поворота 30 м скорость входа должна быть не менее 45 км/ч, при радиусе поворота 60 м – не менее 70 км/ч. При превышении пре-

дельной скорости на 5 % не должно наблюдаться отрыва всех колес одного борта автомобиля от дороги. Поворота рулевого колеса, корректирующего занос, на должно быть до скорости 50 км/ч при радиусе поворота 30 м и скорости 70 км/ч при радиусе поворота 60 м.

Предельная скорость входа в заданную «переставку» определяется на участке с размеченной траекторией. Оценочным показателем является скорость в момент входа в «переставку», предельная по траекторной управляемости. Нормируется боковое смещение «переставки» 3,5 м и ее длина – 12 и 20 м. Скорость входа для грузовых автомобилей при длине переставки 12 м не должна быть меньше 55 км/ч, а при длине 20 м – 80 км/ч. При превышении предельной скорости на 5 % не должно наблюдаться отрыва колес одного борта автомобиля от дороги. Поворот рулевого колеса, корректирующего занос, не должен отмечаться до скорости 55 км/ч при длине «переставки» 12 м и 80 км/ч – при длине «переставки» 20 м.

Как уже отмечалось ранее, устойчивость – это эксплуатационное свойство ТС, характеризующее его способность сохранять заданные параметры движения или положения. Чтобы получить желаемый курсовой угол и траекторию движения автомобиля водитель, поворачивая рулевое колесо, создает управляющие силы. Однако, кроме управляющих сил, на автомобиль действуют различного рода случайные силы такие, как взаимодействие колес с неровностями дороги, наклон дороги, неуравновешенность колес, аэродинамические силы и др. Эти силы называют возмущающими, и они имеют случайный характер.

В результате действия на автомобиль возмущающих сил он может отклоняться от заданных параметров движения или положения. Движение автомобиля в этом случае будет неустойчивым. При изучении устойчивости автомобиля рассматривают условия устойчивости по боковому смещению, угловой скорости и опрокидыванию в поперечной и продольной плоскостях (таблица).

Значения углов опрокидывания и коэффициентов поперечной устойчивости автомобилей

№ п.п	Тип автомобиля	Коэф. поп. уст. $\eta_{пу}$	Критический угол, град
1	Легковые	0,9...1,2	40...50
2	Грузовые	0,55...0,8	30...40
3	Автобусы	0,5...0,6	25...35

Величина отклонений автомобиля от желаемой неизменной траектории в результате действия на него внешних сил, а также число и суммарный угол поворотов руля, необходимых для поддержания этой траектории, при одинаковых условиях различны для различных автомобилей. Чем меньше время при прочих равных условиях, необходимое для заданного водителем изменения траектории движения, меньше отклонения автомобиля от заданной неизменной траектории, меньше затраты водителем физической и психической энергии на достижение желательного изменения или сохранения траектории движения, тем лучше управляемость автомобиля.

Во время движения а/п в составе тягача и прицепа при достижении определенной скорости (обычно 35...40 км/ч) у прицепа начинаются поперечные колебания, называемые вилянием. В результате этого увеличивается ширина коридора движения а/п, что отрицательно сказывается на безопасности, кроме того, возникает опасность заноса прицепа и схода его с дороги; затрудняется управляемость а/п; повышается нагрузка на крюке и расход топлива; увеличивается износ шин и шарнирных соединений в сцепке.

Влияние прицепа возникает как следствие его начального отклонения от заданной траектории, причинами которого могут быть: выход а/п из поворота; движение колес прицепа с уводом при наличии поперечного уклона дороги; наезд колес прицепа на неровность; боковой ветер.

Известно, что в раннем труде Я. М. Певзнера [4], одного из первопроходцев в разработке теории устойчивости автомобиля с учетом бокового увода шин, исследуется устойчивость криволинейного и прямолинейного равномерного движения автомобиля на упрощенной математической модели. При этом использовались нелинейные характеристики увода. Особое внимание уделено круговому движению. Также рассмотрены вопросы, связанные с воздействием аэродинамических сил на устойчивость автомобиля.

Выявлено, что в работе Я. М. Певзнера и Л. Л. Гинцбурга по терминологии в области управляемости автомобилей прослеживается стремление сузить определение устойчивости автомобиля до его курсового движения. Они также вводят отдельные концепции устойчивости для стационарного и движущегося автомобиля с целью предотвращения опрокидывания.

Хотя Я. М. Певзнер назвал свою разработку теорией устойчивости автомобиля, многие вопросы, рассмотренные им, также касаются теории управляемости. Терминология и определения в этой области могут различаться у различных авторов.

Е. А. Чудаков впервые сформулировал понятие управляемости как способность четко поворачивать управляемые колеса во время движения¹, но в последующих исследованиях по теории автомобиля это определение не использовалось из-за его недостаточной точности. Следует отметить, что именно в его работе впервые в отечественной литературе были рассмотрены вопросы управляемости автомобиля, выведены уравнения движения с учетом увода. Исследован процесс движения автомобиля при въезде и выезде из поворота, а также влияние бокового ветра и поперечного наклона дороги. Особое внимание уделено стабилизации управляемых колес, включая стабилизирующий момент шины, вызванный уводом; также изучена устойчивость автомобиля с учетом и без учета боковой эластичности колес. Однако до сих пор нет единого мнения относительно понятий управляемости и устойчивости.

Н. А. Яковлевым и Н. В. Диваковым [5] дается определение управляемости автомобиля как способности сохранять только прямолинейное движение, что вызывает дискуссии. Авторами устойчивость автомобиля определяется как его способность двигаться без скольжения и опрокидывания. В их работе рассматриваются параметры стабилизации управляемых колес, колебания колес и осей автомобиля, а также устанавливается критическая скорость, превышение которой может привести к заносу или опрокидыванию при небольшом поперечном воздействии.

Б. С. Фалькевич определяет устойчивость автомобиля как «набор его свойств, обеспечивающих движение в нужном направлении без заноса или опрокидывания», при этом управляемость рассматривается как одно из качеств устойчивости, обеспечивающее движение в направлении, указанном водителем, и использует подходы, схожие с предыдущими авторами.

Множество исследований посвящено изучению устойчивости автомобиля в неустановившемся движении – при наличии постоянного возмущения. Решение таких задач, имеющих большой практический интерес, оказывается значительно сложнее. Критерием устойчивости движения в данном случае является обеспечение положительных значений всех характеристических чисел системы дифференциальных уравнений возмущенного движения. При установившемся движении, когда возмущению подвергаются начальные условия движения, критерием устойчивости является обеспечение отрицательных вещественных частей всех корней характеристического уравнения.

А. С. Литвинов провел глубокий анализ теории криволинейного движения, включая теоретические и экспериментальные исследования. Он определяет устойчивость как «совокупность свойств, определяющих критические параметры для обеспечения устойчивости движения и положения автотранспортного средства или его компонента». В своей работе автор приводит ряд критических показателей устойчивости, которые могут быть получены как расчетным, так и экспериментальным путем. Понятие управляемости, согласно Литвинову, описывается как «целенаправленная организация процесса движения».

Заключение

Из проведенного анализа можно заключить, что управляемость и устойчивость грузового автомобиля определяются набором параметров, обеспечивающих его направленное движение в соответствии с указаниями водителя/оператора в условиях воздействия различных сил (боковых, инерционных и других). На сегодняшний день для оценки управляемости и устойчивости автомобиля применяются требования, изложенные в Международных правилах ЕЭК ООН № 79 и TRTC 018/2011, которым должен соответствовать каждый автомобиль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чудаков, Е. А. Теория автомобиля. Устойчивость автомобиля против заноса / Е. А. Чудаков. – Москва; Ленинград: 1944. – 291 с.
2. Жуковский, Н. Е. Аналитическая механика / Н. Е. Жуковский. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 280 с.
3. Зимелев, Г. В. Теория автомобиля: учебник для студентов вузов / Г. В. Зимелев. – М.: 1959. – 156 с.
4. Певзнер, Я. М. Теория устойчивости автомобиля / Я. М. Певзнер. – М.: Машгиз, 1947. – 156 с.
5. Яковлев, Н. А. Автомобили и тракторы. / Н. А. Яковлев. – М.: Изд-во Министерства коммунального хозяйства, 1947. – 235 с.