

2. Научились правильно определять величины отклонений кранового пути, путём проведения замеров основных параметров кранового пути;
3. Студенты научились самостоятельно принимать ответственные решения в случае обнаружения отклонений выше допусковых;
4. Научились пользоваться нормативно-технической документацией;
5. Научились составлять формуляр для завершения экспертизы промышленной безопасности;
6. Получили навыки дефектации сварных и болтовых соединений элементов металлоконструкции portalного крана;
7. Научились проводить дефектацию элементов механизмов portalных кранов.

Лабораторные работы на базе предприятия доказали свою эффективность в процессе обучения. В процессе работы над дипломным проектом навыки, полученные в ходе выполнения лабораторных работ на базе предприятия, очень помогли студентам и подняли дипломные работы на новый уровень. Поэтому необходимо лабораторные работы на базе предприятий ввести в повседневную практику процесса обучения.

*Т.И. Тарнопольская, О.В. Сидорова*  
 ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## ПРОДОЛЬНАЯ И ПОПЕРЕЧНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С УПРУГО-ДЕФОРМИРУЕМЫМИ КОЛЕСАМИ

При изучении движения автомобилей наиболее сложными вопросами являются их управляемость и устойчивость. При движении транспортных средств по пересеченной местности или маневрировании возникают дополнительные усилия, влияющие на эти параметры. Устойчивость и управляемость связаны между собой, так как плохая управляемость автомобиля приводит к потере устойчивости и заносу автомобиля. Совместное рассмотрение этих вопросов дает возможность выявить влияние основных конструктивных факторов на оба параметра. Для наглядности движения объекта исследования и связанных с ним характеристик воспользуемся углами Эйлера (угол прецессии –  $\psi$ , угол нутации –  $\theta$  и угол собственного вращения –  $\varphi$ , рис. 1, а), в их технической интерпретации (рис. 1, б). С точки зрения проблем устойчивости поведение транспортного средства с учетом угла рыскания  $\varphi$  – соответствует курсовой устойчивости, угол галопирования  $\Psi$  – продольной, угол крена  $\theta$  – поперечной устойчивости.

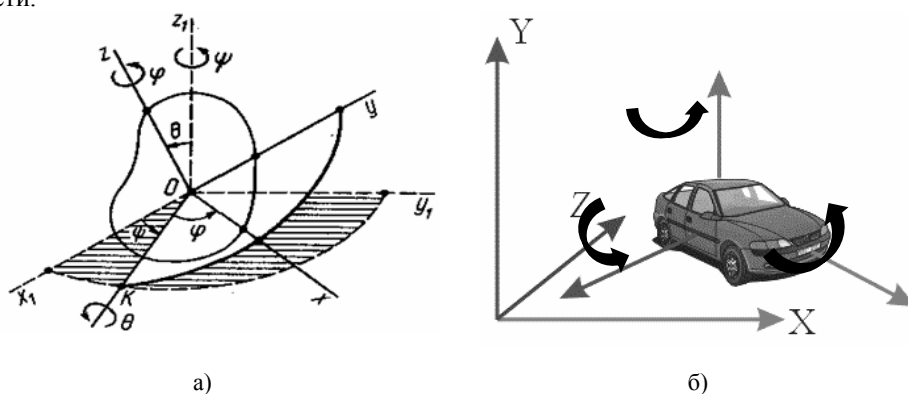


Рис. 1. а) углы Эйлера; б) технические углы для колесных транспортных средств

Рассмотрим продольную и поперечную устойчивость с учетом конструктивных факторов и геометрических параметров и влияние на устойчивость движения бокового увода деформируемых колес.

Поперечная (курсовая) устойчивость – свойство транспортного средства двигаться в поперечной плоскости без заноса и опрокидывания под влиянием внешних возмущающих воздействий, а продольная устойчивость – без опрокидывания в продольной плоскости. Устойчивость оценивается по критическим скоростям, условиям опрокидывания и бокового скольжения. Наиболее вероятна и опасна потеря поперечной устойчивости.

При хорошей курсовой устойчивости автомобиль движется в нужном направлении без корректирующих воздействий со стороны водителя, при заданном положении рулевого колеса. Тогда как неустойчивое транспортное средство неожиданно меняет направление движения, создавая угрозу другим транспортным средствам и пешеходам. Причиной потери курсовой устойчивости является наличие возмущающих сил или технических неисправностей:

- порывов бокового ветра;
- ударов колес о неровности дороги;
- резких поворотов управляемых колес;
- неправильной регулировки тормозных механизмов;
- излишнего люфта в рулевом управлении либо его заклинивание;
- проколов шин.

Потеря устойчивости в поперечном направлении возможна в двух случаях: при повороте на горизонтальной дороге и при движении по дороге с поперечным уклоном.

При повороте автомобиля на горизонтальной дороге причиной потери устойчивости является центробежная сила  $P_{ц}$  (рис. 2, а), приложенная к центру тяжести автомобиля и направленная от центра поворота. Эта сила вызывает занос или опрокидывание:

$$P_{ц} = \frac{mv^2}{R} = \frac{G_a v^2}{gR},$$

где  $m$  – масса автомобиля;  $R$  – радиус поворота транспортного средства относительно центра  $O$ .

Момент начала опрокидывания автомобиля определяется с помощью равенства моментов всех сил, действующих относительно точки контакта внутреннего колеса с дорогой  $A$ :

$$P_{ц} h_g = G_a \frac{B}{2},$$

где  $h_g$  – высота центра тяжести;  $B$  – колея автомобиля.

Критическая скорость на повороте при опрокидывании определяется подстановкой значения центробежной силы в уравнение моментов:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{gRB}{2h_g}} \text{ м/с.}$$

Сила бокового сцепления равна  $P_{сц} = G_a \phi_1$ , где  $\phi_1$  – коэффициент поперечного сцепления с дорогой. На сухих, чистых покрытиях силы сцепления достаточно велики, и автомобиль не теряет устойчивости даже при большой поперечной силе. Если

дорога покрыта слоем мокрой грязи или льда, то автомобиль может занести даже в том случае, когда он движется с небольшой скоростью по сравнительно пологой кривой. Боковое скольжение автомобиля начинается при равенстве центробежной силы и силы сцепления:  $P_{ц} = G_a \phi_1$ . Тогда скорость движения на повороте при начале бокового скольжения равна:

$$v_{ск} = \sqrt{\phi_1 R g} \text{ м/с.}$$

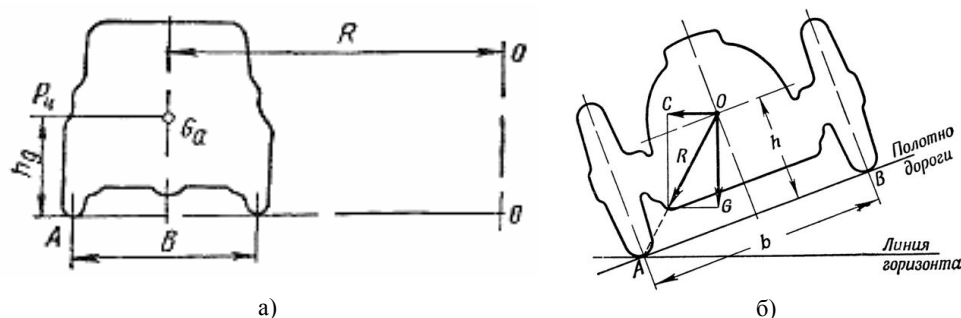


Рис. 2. Поперечная устойчивость автомобиля (схема сил):  
а) при повороте, б) на косягоре

При движении по дороге с поперечным уклоном (на косягоре, рис. 2, б) в центре тяжести автомобиля приложены центробежная сила –  $P_{ц} = C$  и  $G_a$  – вес автомобиля. Опрокидывание автомобиля может наступить лишь в том случае, когда точка пересечения равнодействующей этих двух сил  $R$  с землей выйдет за пределы ширины автомобиля  $AB$ . Противодействие боковому заносу определяется силой сопротивления, равной  $G_a \cdot \phi_1$ , где  $\phi_1$  – коэффициент бокового сцепления колеса с дорогой (практически равный  $\phi$  – коэффициенту продольного сцепления).

Обычно при потере устойчивости сначала начинается боковой занос, который может привести в некоторых случаях к опрокидыванию, т.к. боковое скольжение наступает раньше опрокидывания. Для обеспечения хорошей устойчивости должно выполняться условие:  $b/2h_g > 1$ , где  $b$  – колея,  $h_g$  – высота центра тяжести. Боковой занос возможен в том случае, когда  $P_{ц} \geq G_a \cdot \phi_1$ .

Из полученных соотношений видно, что на устойчивость автомобиля влияет как высота центра тяжести, так и его положение по отношению к базе автомобиля и относительно его продольной оси симметрии.

Во время ускоренного движения происходит перераспределение нагрузок: передние колеса автомобиля несколько разгружаются, благодаря действию инерционной силы, приложенной к центру тяжести, причем это явление возрастает с приближением центра тяжести к задним колесам. При торможении происходит обратный процесс, т.е. уменьшение нагрузки на заднюю ось, что снижает силу сцепления ведущих колес с дорогой и приводит к ухудшению устойчивости. Перемещение центра тяжести ближе к передней оси улучшает управляемость автомобиля, но устойчивость его против бокового заноса при этом уменьшается, особенно при движении по скользкой дороге. Особенно опасным является сочетание криволинейного участка дороги с поперечным уклоном.

Продольная устойчивость автомобиля. При движении автомобиля на подъем может произойти продольное опрокидывание. При этом опрокидывающей силой будет составляющая массы, направленная параллельно плоскости дороги  $G_a \sin \alpha$ . Потеря продольной устойчивости начнется при равенстве опрокидывающего момента и момента, противодействующему опрокидыванию (рис. 3):

$$G_a \sin \alpha \cdot h_g = G_a \cos \alpha \cdot b.$$

С учетом этого выражение максимального угла подъема имеет вид:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\max} = \frac{b}{h_g}.$$

Устойчивость автомобиля против опрокидывания в продольной плоскости зависит от расположения его центра тяжести, определяемого расстояниями  $a$  и  $b$  до передней и задней осей, и высоты  $h_g$  над поверхностью дороги.

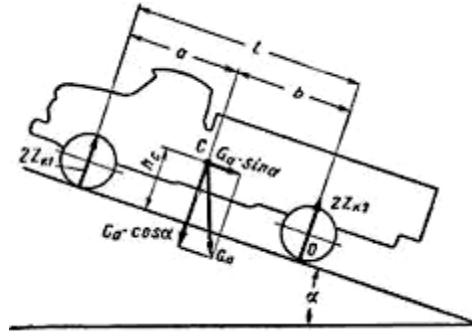


Рис. 3. Продольная устойчивость автомобиля (схема сил)

Из-за недостаточного сцепления колес с дорогой при движении на подъем происходит сползание. Равенство силы сцепления на подъеме для автомобилей с двумя задними ведущими и силы, стремящейся сдвинуть автомобиль назад определяет тангенс угла, при котором начнется движение назад:

$$\frac{a}{a+b} G_a \varphi \cos \alpha = G_a \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\varphi a}{a+b},$$

где  $\varphi$  – коэффициент продольного сцепления колес с дорогой.

Влияние деформируемости колес на устойчивость автомобиля. Упруго-деформируемые шины при появлении даже небольшой боковой силы отклоняются в сторону действия этой силы и начинают катиться под углом  $\delta$  к прежнему направлению движения. Такая деформация пневматика в боковом направлении называется боковым уводом, а угол  $\delta$  – углом бокового увода (рис. 4, а). Боковой увод колес оказывает большое влияние на устойчивость автомобиля.  $\delta$  тем больше, чем меньше жесткость шин в боковом направлении. Как показали теоретические и экспериментальные исследования, первоначально угол увода прямо пропорционален боковой силе и зависимость имеет вид наклонной прямой:

$$Y = k\delta,$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления боковому уводу,  $\delta$  – угол увода. Но с некоторого значения боковой силы, угол увода возрастает быстрее, кривая становится более пологой и, наконец, идет практически параллельно оси абсцисс  $Y = \varphi G$  (рис. 4, б), так как начинается частичное проскальзывание в боковом направлении, а затем, при дальнейшем росте – полное скольжение.

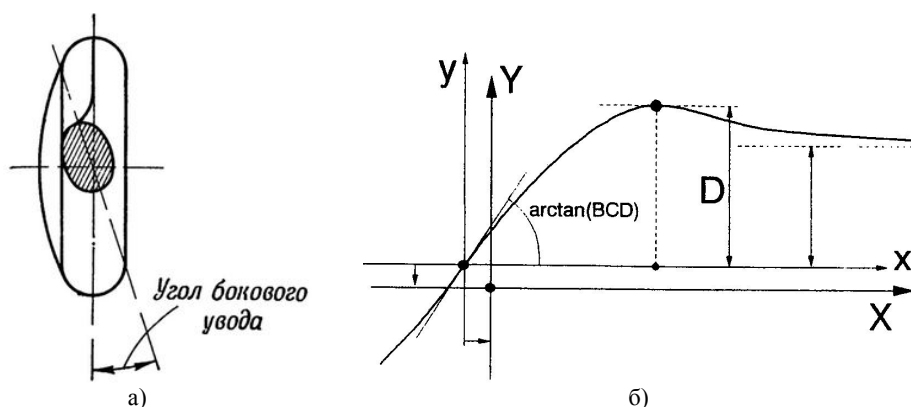


Рис. 4. а) Деформация шин под действием поперечной силы (вид сверху).  
 б) Зависимость боковых реакций от угла увода

Существуют разные математические и физические модели, учитывающие эластичность шин. Достаточно простым и ёмким, является учет деформируемости и увода колес согласно теории И. Рокара. При этом рассматривается поперечное и продольное усилие в точке контакта колес с дорогой и учитывается их влияние на коэффициент боковому уводу. Данный коэффициент в случае отсутствия продольных сил на колесе коэффициент имеет табличное значение  $k_0$  и зависит от вертикальной нагрузки  $Z$ , продольной силы  $X$  и тягового или тормозного момента  $M$ :

$$k = k_0 \cdot \frac{\sqrt{1 - (X / \varphi \cdot G)^2}}{1 + 0,375 \cdot Z / G}.$$

Причем, величина продольной силы задается соотношением:

$$X = \begin{cases} \frac{M}{r}, & \text{если } \frac{M}{r} < \varphi \cdot G \\ \varphi \cdot G, & \text{если } \frac{M}{r} \geq \varphi \cdot G \end{cases}$$

где

$r$  – радиус колеса,

$\varphi$  – коэффициент сцепления колеса с дорожным покрытием.

Физическое содержание этой формулы определяется взаимосвязью продольной и поперечной компонент сил трения в пятне контакта, которое показано на рис. 5. Это так называемый, «эллипс трения» или «friction ellipse». Кривые показывают изменение боковой силы при заданном угле увода  $\delta$  [град] (на рисунке изображена четверть эллипса, отображающая положительные составляющие сил). При воздействии тяговой силы или тормозного усилия боковая сила постепенно уменьшается за счёт дополнительного скольжения, создаваемого в зоне контакта.

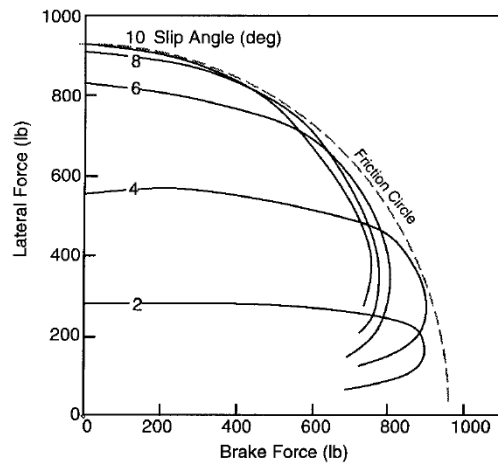


Рис. 5. Зависимость боковой силы от продольной силы при постоянных углах увода

Величина угла увода зависит в большой степени от боковой эластичности, конструкции шин, ширины профиля шины и внутреннего давления в ней. Уменьшение жесткости боковин покрышек и снижение внутреннего давления увеличивают боковую эластичность шин.

Устойчивость автомобиля против увода можно повысить следующими способами:

- смещением вперед центра тяжести автомобиля; повышением сопротивления уводу передних шин по сравнению с задними колесами (снижение давления в передних шинах);
- уменьшением абсолютной величины углов увода передних и задних колес (правильный выбор размеров и конструкции шин);
- увеличением базы автомобиля.

Практическое использование предложенных способов ограничено другими требованиями, предъявляемыми к автомобилю в целом и к его шинам. Однако при конструировании ТС можно воздействовать в желаемом направлении на величину и характер бокового увода, дополняя этим способы повышения устойчивости автомобиля.

Устойчивость автомобиля как способность противостоять боковому заносу и опрокидыванию, оценивается по способности транспортного средства сохранять заданное направление движения на горизонтальной дороге – по критической скорости, на дороге с поперечным уклоном – по скорости начала скольжения при движении автомобиля на подъем – по максимальному углу подъема, при учете влияния на устойчивость автомобиля боковой увода колес все характеристики пересчитываются с корректировкой на коэффициент бокового увода  $k$ .

#### Список литературы:

- [1] Мартынюк А.А., Лобас Л.Г., Никитина Н.В. Динамика и устойчивость движения колесных транспортных машин. – Киев: Техника, 1981. – 223 с.
- [2] Лобас Л.Г., Вербицкий В.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин. – Киев: Наукова думка, 1990. – 232 с.
- [3] Тарнопольская Т.И., Сидорова О.В. Поперечная устойчивость транспортных средств с учетом демпфирующих свойств подвески// Вестник ВГАВТ. – Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. – Вып. 27. С. 176–181.