**Устойчивость трактора и автомобиля**

Методические указания к выполнению лабораторной работы

*Цель работы* – исследовать устойчивость движения трактора и автомобиля. *Используемое оборудование*: макет автомобиля, поверхность с переменным поперечным уклоном, измерительный инструмент.

**Основные положения**

При потере поперечной устойчивости трактор и автомобиль начинает либо скользить по дороге, либо опрокидывается. Потеря поперечной устойчивости является следствием действия боковой силы, которая может быть результатом возникновения центробежной силы при повороте автомобиля, составляющей силы тяжести при движении по косогору, бокового ветра и т.п.

Движение по окружности на горизонтальной поверхности

Для определения боковой силы, вызывающей занос автомобиля, рассмотрим рис. 1. Принято допущение: шины автомобиля в поперечном направлении не деформируются.

Точка – центр тяжести автомобиля;

точка  – центр поворота;

***=*** – радиус движения центра тяжести;

**=** – радиус движения центра задней оси;

**** – угол между продольной осью автомобиля и направлением движения середины переднего моста (этот угол приблизительно равен полусумме поворота управляемых колес);

– база автомобиля;

– угол между ****** и ****.

При равномерном движении автомобиля по кругу с постоянным радиусом центробежная сила равна

******, (1)

где – масса автомобиля, кг;

 – угловая скорость автомобиля, рад/с.

Вместе с тем

**** ; ****, (2)

где – мгновенная линейная скорость автомобиля, м/с2 .



****

****





















Рис. 1. Движение автомобиля на повороте

После преобразования уравнения (1) с учетом выражений (2) получим

****** . (3)

Отсюда можно определить поперечную составляющую центробежной силы:

******. (4)

Показателями поперечной устойчивости автомобиля являются максимально возможные скорости движения (критические скорости, рис. 2, *а*).

При движении по горизонтальному участку дороги с поворотом (см. рис. 2, *а*) под действием боковой силы автомобиль может либо опрокинуться относительно оси, проходящей через центры контактов шин наружных колес с дорогой, либо начать скользить (занос).

*При опрокидывании* уравнение моментов выглядит следующим образом:

****** , (5)

где – колея автомобиля, м;

– сумма нормальных реакций внутренних (по отношению к центру поворота) колес, Н;

****– вес автомобиля, Н;

– высота центра тяжести автомобиля, м.

В момент начала опрокидывания внутренние (по отношению к центру поворота) колеса автомобиля отрываются от дороги. В этом случае , тогда

******.** (6)

Подставив вместо силы  ее значение из формулы (4), получим выражение для критической скорости по условиям опрокидывания:

******, (7)

где – ускорение свободного падения, ****=9,81 м/с2 .

Однако автомобиль проектируется таким образом, чтобы сила, его опрокидывающая, была больше силы, вызывающей занос. В таком случае боковая сила растет до тех пор, пока имеется возможность роста боковой реакции дороги из условий сцепления. При достижении боковой силой значения, равного максимальному из условий сцепления, начинается занос автомобиля, что обычно предотвращает его опрокидывание, т.е. критическая скорость начала заноса должна быть меньше скорости начала опрокидывания.

*При заносе* баланс сил

******, (8)

где .

Известно, что коэффициент сцепления  определяется как отношение максимально возможной касательной силы (в нашем случае боковой) к нормальной силе (на ровной дороге нормальная сила равна весу автомобиля, на косогоре – лишь нормальной составляющей веса).

******.

Отсюда, учитывая выражение (4), получим критическую скорость при заносе автомобиля

****** . (9)

















































*а б*

Рис. 2. Схема к расчету показателей поперечной устойчивости:

*а* – критических скоростей; *б* – критических углов косогора

Движение по дороге с поперечным уклоном

При движении автомобиля по дороге с поперечным уклоном потеря устойчивости возможна вследствие действия поперечной составляющей силы тяжести, равной ******(рис. 2, *б*).

*При опрокидывании* уравнение моментов относительно точки  запишем

****** . (10)

В момент начала опрокидывания внутренние колеса отрываются от дороги, т.е. ****,** тогда

****. (11)

Разделив левую и правую части уравнения (11) на ******, после преобразования получим

 . (12)

Критический угол косогора при опрокидывании определится из уравнения (12):

******. (13)

*Занос* автомобиля на косогоре начнется при достижении боковыми реакциями максимальной силы сцепления:

**. (14)

Разделив (14) на ******,получим

****.(15)

Отсюда критический угол косогора по условиям заноса

******. (16)

В рассмотренных выше вариантах предполагается занос всего автомобиля, но обычно начинают скользить колеса одного из мостов.

Из теории автомобиля известно, что колесо продолжает устойчивое качение, пока результирующая касательных сил в пятне контакта колеса с дорогой не превышает максимальной по условиям сцепления

******. (17)

Отсюда

**. (18)

Таким образом, поперечная сила, которую можно приложить к колесу, не вызывая его скольжения, тем больше, чем больше сила сцепления  и чем меньше продольная касательная реакция (тормозная или тяговая).

На рис. 3, *а* показан автомобиль, у которого передние колеса движутся поступательно со скоростью , а задние, кроме составляющей , имеют еще скорость заноса . В результате задний мост перемещается со скоростью , что вызывает поворот автомобиля вокруг центра , хотя передние колеса при этом находятся в нейтральном положении (не повернуты).

****

****

****





****

****

****

****

****

****





****

****

****

*а* *б*

Рис. 3. Занос мостов автомобиля: *а* – заднего; *б* – переднего

Поперечная составляющая  возникающей при этом центробежной силы  действует в направлении скольжения заднего моста, повышая скорость скольжения . Это вызывает дальнейшее возрастание центробежной силы, в результате чего занос прогрессирует. Поэтому опаснее занос заднего, а не переднего моста (рис. 3, *б*), при котором поперечная составляющая  силы  направлена в сторону, противоположную скорости бокового скольжения , в результате чего скольжение передних колес автоматически прекращается и автомобиль не теряет устойчивости.

**Порядок проведения работы**

1. Определить коэффициент бокового сцепления колеса с дорогой , используя выражение (15), для чего:
   1. Поставить макет автомобиля БелАЗ на наклонную плоскость.
   2. Увеличить угол наклона плоскости  до начала поперечного скольжения макета, зафиксировать в этот момент значения величин  и (см. рис. 2, *б*) линейкой.
   3. Определить  по известным  и  или углу наклона *.*
   4. Повторить эксперимент трижды и подсчитать среднее арифметическое *.*
2. Определить высоту центра тяжести  автомобиля «ГАЗель» по макету. В данном случае допускается, что линейные и весовые параметры макета пропорциональны реальному автомобилю с коэффициентом пропорциональности =21,3. В нашем случае коэффициент  был получен путем деления высоты центра тяжести реального автомобиля «ГАЗель» на тот же параметр макета.
   1. Поставить макет на наклонную плоскость.
   2. Под колеса подложить упор, препятствующий боковому скольжению макета (можно линейку).
   3. Увеличивая угол наклона  плоскости, замерить катеты  и (см. рис. 2, *б*) или сам угол в момент начала опрокидывания (груз в кузове автомобиля находится в опущенном положении).
   4. Подсчитать величину высоты центра тяжести макета , используя уравнение (12).
   5. Трижды повторить эксперимент и определить по средней арифметической  величину центра тяжести реального автомобиля:

 .

* 1. Поднять груз и проделать работу по пунктам 2.1– 2.5.

1. Проанализировать устойчивость движения автомобиля «ГАЗель» при повороте на горизонтальной поверхности и при движении по косогору, взяв за основу полученные при эксперименте значения коэффициента бокового сцепления и значения высот центра тяжести (с учетом коэффициента пропорциональности).

3.1.Определить критическую скорость при опрокидывании  при различных радиусах поворота и различном положении груза  по уравнению (7). Внести данные в табл. 1 (– высота центра тяжести при опущенном грузе, м; – высота центра тяжести при поднятом грузе, м; – радиус поворота, м).

3.2. Определить критическую скорость при заносе по уравнению (9) при различных радиусах поворота для двух значений коэффициента : а) коэффициент бокового сцепления  меньше определенного экспериментально  на 20 %; б)  больше экспериментального  на

40 %. Данные внести в табл. 1.

Таблица 1

**Сводная таблица критических скоростей**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Критические скорости при опрокидывании  и заносе , м/с | Радиус поворота , м | | | | | |
| 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| при |  |  |  |  |  |  |
| при |  |  |  |  |  |  |
| при |  |  |  |  |  |  |
| при |  |  |  |  |  |  |

3.3. По данным таблицы построить на одном графике зависимости критических скоростей при опрокидывании ******и заносе  (рис. 4).

*V*, м/с

*R*, м

при 

при 

при   1,4φ

при 



Рис. 4. Примерный вид кривых критических

скоростей при опрокидывании и заносе в зависимости от и 

3.4. Используя график, провести анализ устойчивости движения автомобиля «ГАЗель» по горизонтальной поверхности в двух случаях движения (значения величин  и  выбрать произвольно):

а) радиус поворота  постоянный, скорость автомобиля в ходе эксперимента увеличивается от 0 до критической по устойчивости;

б) линейная скорость автомобиля постоянна, радиус поворота  в ходе эксперимента уменьшается от бесконечности до величины, при которой происходит потеря поперечной устойчивости.

При выполнении пункта 3.4 необходимо выбрать произвольно один из двух случаев движения, после чего провести анализ.

3.5. Определить критические углы косогора  (для  и ) и  (для ****** и ******), используя уравнения (13) и (16).

**Контрольные вопросы**

1. Провести анализ устойчивости по п. 3.4 (величины  и  взять по заданию преподавателя).
2. Зависит ли  от  и ? Доказать.
3. Как влияет упругая подвеска на критический угол опрокидывания? Объяснить по схеме.
4. Как влияют на поперечную устойчивость параметры *,**,*?
5. Порядок проведения работы по определению  и *.*
6. Определить , при котором возможно опрокидывание автомобиля на косогоре без поперечного скольжения, если известны ** и .
7. Определить , при котором возможно опрокидывание, а не занос автомобиля на повороте при движении по горизонтальной плоскости, если известны ** и .
8. Вывести зависимость ******.

9. Вывести зависимость .

1. Вывести зависимость .
2. Вывести зависимость .
3. Определить , при котором возможно опрокидывание, а не занос автомобиля при известных  и ** на косогоре.
4. Определить , при котором возможно опрокидывание, а не занос на повороте по горизонтальной плоскости, если известны  и **.
5. Доказать, что наиболее опасен занос задней оси, а не передней.