

УДК 629.114

УСТОЙЧИВОСТЬ КОЛЕСНЫХ МАШИН КАК СЛОЖНОЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СВОЙСТВО

М.А. Подригало, профессор, д.т.н., Д.М. Клец, к.т.н., ХНАДУ,
Н.П. Артемов, к.т.н., ХНТУСХ имени П. Василенка

Аннотация. Рассмотрены различные мнения по определению понятия «устойчивость колесных машин» и предложено свое определение. Представлен вариант структуры свойств устойчивости как сложного эксплуатационного свойства.

Ключевые слова: устойчивость, движение, установившееся движение, колесная машина, угловая скорость, линейная скорость.

СТІЙКІСТЬ КОЛІСНИХ МАШИН ЯК СКЛАДНА ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ВЛАСТИВІСТЬ

М.А. Подригало, професор, д.т.н., Д.М. Клец, к.т.н., ХНАДУ,
Н.П. Артемов, к.т.н., ХНТУСГ імені П. Василенка

Анотація. Розглянуто різні думки щодо визначення поняття «стійкість колісних машин» і запропоновано своє визначення. Представлено варіант структури властивостей стійкості як складні експлуатаційні властивості.

Ключові слова: стійкість, рух, ustalений рух, колісна машина, кутова швидкість, лінійна швидкість.

STABILITY OF WHEELED VEHICLES AS COMPLEX OPERATIONAL PROPERTIES

M. Podrigalo, Doctor of Technical Science, D. Klets, Candidate of Technical Science,
N. Artemov, Candidate of Technical Science, KhNTUA

Abstract. Different views on the definition of «stability of wheeled vehicles» are considered and the author's own definition is offered. A version of the structure of stability properties as a complex operational property is offered.

Key words: stability, motion, steady motion, wheeled vehicle, angular velocity, linear velocity.

Введение

Устойчивость является одним из наиболее важных эксплуатационных свойств, влияющих на безопасность движения и производительность колесных машин. В известной литературе признанно формулировка понятия «устойчивость колесных машин».

В настоящей статье рассмотрены различные мнения по определению указанного понятия и предложено свое определение. Представлен вариант структуры свойств устойчивости как сложного эксплуатационного свойства.

Анализ публикаций

В литературе отсутствует общепризнанная формулировка понятия «устойчивость колесных машин» [4, 5]. В энциклопедической литературе [3] приводятся понятия устойчивости движения и устойчивости равновесия. Под устойчивостью движения понимается способность движущейся под действием приложенных сил механической системы почти не отклоняться от этого движения при каких-либо незначительных случайных воздействиях (легкие толчки, слабые порывы ветра и т.п.). Движение, не обладающее этой способностью, является неустойчивым.

Условия, при которых имеет место устойчивость движения, называют критерием устойчивости.

Под устойчивостью равновесия [3] понимается способность механической системы, находящейся под действием сил в равновесии, после незначительного отклонения возвращаться в положение равновесия.

Очевидно, что устойчивость движения от устойчивости равновесия отличается тем, что в первом случае механическая система может двигаться с ускорением (замедлением). Приведенные определения носят качественный характер, поскольку в них отсутствует определение критерия устойчивости движения.

В кибернетике [1] понятие устойчивости применяется для описания постоянства какой-либо черты поведения системы, понимаемого в весьма широком смысле. Это может быть постоянство состояния системы (его неизменность во времени) или постоянство некоторой последовательности состояний, пробегаемых системой в процессе ее движения.

В формулировке А.М. Ляпунова [2] определение устойчивости включает в себя еще и критерий устойчивости движения. Движение механической системы устойчиво по А.М. Ляпунову, если с течением времени отклонения от невозмущенного движения уменьшаются. Движение неустойчиво по А.М. Ляпунову, если с течением времени отклонения растут и разница между возмущенным и невозмущенным движениями увеличивается.

В известной литературе отсутствует единое мнение в отношении определения понятия устойчивости, свидетельством чего являются формулировки различных авторов [2, 5, 6–10], представленные в таблице. Необходимо провести сравнительный смысловой анализ приведенных определений, а также определить структуру свойств устойчивости как комплексного эксплуатационного свойства.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является уточнение понятия устойчивости колесных машин при установившемся движении как сложного эксплуатационного свойства и определение его структуры.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- уточнить понятие устойчивости колесных машин при установившемся движении;
- определить структуру свойств устойчивости колесных машин при установившемся движении.

Уточнение понятия устойчивости колесных машин при установившемся движении

Устойчивость колесных машин подразделяется на устойчивость движения и устойчивость положения [11]. Устойчивость положения (против опрокидывания в продольной и поперечной плоскости) является одним из свойств устойчивости движения, поскольку при ее потере движение колесной машины невозможно. Устойчивость также может быть курсовой и траекторной. Курсовая устойчивость – способность сохранять ориентацию продольной оси машин. Траекторная устойчивость – способность сохранять заданное направление движения центра масс машины. Другими словами, траекторная устойчивость – это свойство машины с достаточной точностью двигаться (следовать) по заданной криволинейной траектории (поворачивать), а курсовая устойчивость – следовать по прямой (не изменять направления движения). Следует отметить, что указанные одно и другое свойства характеризуют способность колесной машины сохранять устойчивость при установившемся движении. Поэтому будем считать это комплексное свойство свойством устойчивости колесных машин при установившемся движении.

Профессор Г.А. Смирнов [9] (табл. 1) предлагает рассматривать собственную устойчивость автомобиля, т.е. устойчивость, заложенную в конструкцию машины и обеспечиваемую без участия водителя.

Устойчивость следует также подразделять на статическую и динамическую. Статическая устойчивость появляется в отсутствии возмущенного движения объекта. Динамическая устойчивость появляется при появлении возмущенного движения и характеризует возможность возврата объекта к невозмущенному движению.

Таблица 1 Определение понятия устойчивости в работах различных авторов

№ п/п	Автор	Формулировка	Примечание
1	Ляпунов А.М. [2]	Движение механической системы устойчиво, если с течением времени отклонения от невозмущенного движения уменьшаются	Движение неустойчиво по А.М. Ляпунову, если с течением времени отклонения растут и разница между возмущенным и невозмущенным движениями увеличивается
2	Косолапов Т.М. [6]	Устойчивость – это способность автомобиля без участия водителя сохранять заданное направление движения и противостоять действию внешних возмущающих сил, стремящихся изменить это направление	
3	Таборев Я. [7]	Устойчивость движения автомобиля – способность автомобиля сохранять заданное направление при действии возмущений и создавать новые условия равновесия после прекращения действия этих сил.	
4	Зимелев Г.В. [8]	Устойчивость – способность автомобиля двигаться в различных условиях без продольного и поперечного опрокидывания и без бокового скольжения	
5	Литвинов А.С. [9]	Под устойчивостью автомобиля подразумевается совокупность параметров, характеризующих устойчивость его движения по всем степеням свободы незакрепленного твердого тела, за исключением движения в направлении продольной оси и в направлении, перпендикулярном опорной плоскости	
6	Смирнов Г.А. [9]	Устойчивость – это свойство машины сохранять в заданных пределах, независимо от скорости движения и действия внешних сил, направление движения и ориентацию продольной и вертикальной осей при отсутствии управляющих воздействий со стороны водителя	Это определение касается собственной устойчивости автомобиля, т.е. устойчивости, заложенной в конструкцию машины без необходимости коррекции движения водителем из-за неустойчивости
7	Петров М.А. [10]	Под устойчивостью автомобиля понимается его свойство сохранять в заданных пределах направление скорости движения и ориентацию своих продольной и поперечной осей	

Устойчивость может рассматриваться при установившемся и неуставившемся движениях. Устойчивость при установившемся движении характеризует способность колесной машины сохранять все параметры и траекторию движения при действии внешних и внутренних возмущений. Устойчивость при неуставившемся движении – способность объекта подчиняться управляющим воздействиям с заданной точностью реализации параметров и траектории движения. Характеризует быстроту и точность перехода объекта из одного состояния установившегося движения в другое (из одного равновесного состояния в другое). Устойчивость колесной машины при неуставившемся

движении является составляющим более сложного эксплуатационного свойства – управляемости и требует отдельного рассмотрения.

Для установившегося режима движения неустойчивость колесной машины состоит в появлении возмущенного движения. Под устойчивостью в установившемся режиме движения следует понимать способность автомобиля самопроизвольно не отклоняться от осей траектории и параметров установившегося движения под действием внешних и внутренних возмущений, не контролируемых водителем или автоматическим управляющим устройством.

Следует отметить отличие установившегося движения от равномерного. Равномерное движение – это движение с постоянной скоростью (линейной или угловой). Установившееся движение характеризуется постоянной средней скоростью движения (линейной или угловой). Чем выше показатели устойчивости колесной машины, тем ближе значения мгновенной скорости к скорости установившегося движения.

Если устойчивость движения обеспечивается при возникновении внешних или внутренних воздействий без отклонения колесной машины от заданных траектории и кинематических параметров движения, то машина обладает статической устойчивостью. Если заданная траектория и кинематические параметры автомобиля восстанавливаются после появления отклонений под воздействием внешних и внутренних возмущений, то машина обладает динамической устойчивостью.

Потеря устойчивости при установившемся движении – опрокидывание, занос задней оси, боковой увод передней оси, буксование ведущих колес, боковое скольжение ведомых колес или наезд на препятствие. В этом случае проходимость и плавность хода колесных машин являются эксплуатационными свойствами, влияющими на устойчивость движения (ограничивающими мгновенную и среднюю скорости движения).

Количественно устойчивость движения можно оценивать по максимальной величине внешнего или внутреннего возмущения, при воздействии которого сохраняется устойчивое движение автомобиля. Одним из таких оценочных показателей может быть линейное или угловое ускорение, линейная или угловая скорость машины, либо ее линейное или угловое перемещение. Ускорение возникает раньше скорости перемещения, а скорость перемещения – раньше перемещения. Поэтому в качестве критерия устойчивости движения следует использовать ускорение колесной машины (линейное или угловое), вызванное действием возмущающих силы или момента. При оценке статической устойчивости (при отсутствии возмущенного движения) целесообразно использовать в качестве критерия устойчивости парциальные ускорения от возмущающих факторов [12]. При оценке динамической устойчивос-

ти также можно использовать как начальные ускорения возмущенного движения, так и начальные парциальные ускорения от возмущающих сил или моментов. Указанный подход применим как для оценки устойчивости движения, так и устойчивости положения.

Анализ формулировок понятия устойчивость, приведенных в таблице, показывает, что классическому определению устойчивости движения по А.М. Ляпунову не соответствует ни одно из них. Все они касаются только сохранения заданного направления движения (сохранение направления вектора скорости) колесной машины. Формулировки, предложенные проф. Косолаповым Г.М. [6] и Петровым М.А. [10], – собственной устойчивости автомобиля.

На наш взгляд, наиболее точным определением устойчивости колесных машин в установившемся режиме движения, характеризующим не только устойчивость сохранения заданной траектории движения, но и параметров движения (скорости), является следующее: «Под устойчивостью движения в установившемся режиме следует понимать способность машины самопроизвольно не отклоняться оси траектории и параметров установившегося движения под воздействием внешних и внутренних возмущений, не контролируемых водителем или автоматическим управляющим устройством». Это определение включает в себя и параметры, определяющие положение машины относительно опорной поверхности.

Структура свойств устойчивости колесных машин при установившемся движении

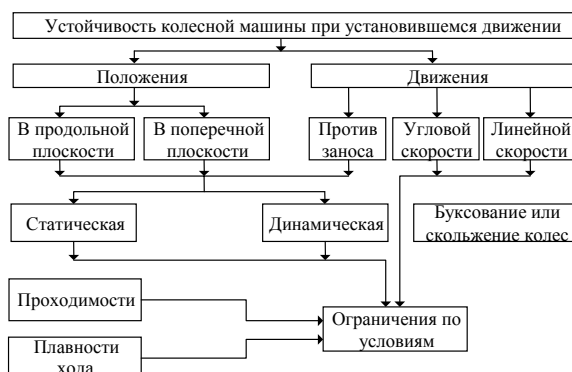


Рис. 1. Структура свойств устойчивости колесных машин при установившемся движении

На рис. 1 приведена структура свойств устойчивости колесных машин при установившемся движении.

Поскольку устойчивость движения характеризует способность колесных машин сохранять заданное направление и скорость движения (линейную и угловую), что при составлении структуры свойств устойчивости необходимо учесть все факторы, влияющие на отклонения указанных величин от заданных.

Потеря устойчивости может происходить вследствие заноса, опрокидывания, буксования ведущих колес, бокового скольжения колес, наезда на непреодолимое препятствие, увеличения размеров неровностей дорог, вызывающих колебания подвески и снижение скорости движения. Устойчивость движения колесной машины определяется характером взаимодействия колес с дорогой (опорной поверхностью).

Поэтому неустойчивость движения проявляется при буксовании, боковом скольжении колес, остановке машины и значительных амплитудах колебаний подрессоренных и неподрессоренных частей. Устойчивость положения является необходимым условием обеспечения устойчивости движения. Проходимость и плавность хода – это эксплуатационные свойства, ограничивающие скорость движения по условиям устойчивости.

Выводы

1. В результате анализа свойств устойчивости колесных машин в установившемся режиме движения получено общее определение, отличающееся от известных учетом не только изменений направления движения, но и других параметров, определяющих закон движения машины в установившемся режиме.

2. Предложенная классификация свойств устойчивости колесных машин в установившемся режиме движения позволит в дальнейшем построить систему критериев для оценки указанных свойств.

Литература

1. Лернер А.Я. Начала кибернетики / А.Я. Лернер. – М.: Наука, 1967. – 400 с.
2. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения / А.М. Ляпунов. Собрание сочинений. т. 2. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 384 с.
3. Энциклопедический словарь / А.М. Прохоров, М.С. Гиляров, Е.М. Жуков и др. – М.: Советская энциклопедия, 1980. – 1600 с.
4. Terminology for vehicle directional control and tire characteristics/ SAE Journal. – 1964. – Vol. 12, №2. – 72 с.
5. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
6. Косолапов Г.М. Пути повышения устойчивости автомобиля при торможении: автореф. дис... на соискан. учен. степ. д-ра техн. наук: 05.05.03 «Колесные и гусеничные» / Г.М. Косолапов. – Волгоград, 1973. – 40 с.
7. Таборек Я. Механика автомобиля / Я. Таборек. – М.: Машгиз, 1960. – 252 с.
8. Зимелев Г.В. Теория автомобиля / Г.В. Зимелев. – М.: Машгиз, 1959. – 312 с.
9. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. / Г.А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
10. Петров М.А. Работа автомобильного колеса в тормозном режиме / М.А. Петров. – Омск: Западно-Сибирское книжное издательство, 1973. – 224 с.
11. Подригало М.А. Управляемость и устойчивость автомобиля. Определения понятий (В порядке обсуждения) / М.А. Подригало // Автомобильная промышленность. – 2008. – №11. – С. 22–23.
12. Артемов Н.П. Метод парциальных ускорений при исследовании динамики мобильных машин. (В порядке обсуждения) / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, О.П. Алексеев и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – №1. – С. 16 – 18.

Рецензент: В.П. Волков, профессор, д.т.н, ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 21 июля 2011 г.