

УДК 629.3.015.5

**Запропоновано розрізняти завдання канонічного і неканонічного шиммі (НКШ). Описано три механізми НКШ, що приводять до інтенсивних поперечно-поступальних коливань коліс шасі. Представлений стенд для спостереження НКШ і запропонована програма захисту від нього**  
**Ключові слова:** коливання, шиммі, шина

**Предложено различать задачи канонического и неканонического шимми (НКШ). Описаны три механизма НКШ, приводящие к интенсивным поперечно-поступательным колебаниям колес шасси. Представлен стенд для наблюдения НКШ и предложена программа защиты от него**  
**Ключевые слова:** колебания, шимми, шина

**It is suggested to difference the tasks of canonical and non-canonical shimmy. Three mechanisms of noncanonical shimmy are described, resulting in intensive transversal-forward to the vibrations of supports of undercarriage. A stand is presented for the supervision of noncanonical shimmy and the program of protecting against it is offered**  
**Keywords:** vibrations, shimmy, tire

# НЕКАНОНИЧЕСКОЕ ШИММИ И ЗАЩИТА ОТ НЕГО

**Б. М. Шифрин**  
 Кандидат технических наук, доцент  
 Кафедра общетехнических дисциплин и авиационной химии  
 Государственная летная академия  
 ул. Добровольского, 1,  
 г. Кировоград, Украина, 25005  
 Контактный тел.: 095-541-31-05  
 E-mail: B\_Shifrin@mail.ru

## 1. Введение

Явление шимми широко известно и продолжает интенсивно изучаться. Опыт эксплуатации транспортных пневмоколесных машин (ТПКМ) показывает, что такие изучения актуальны. Академики РАН В.Ф. Журавлев и Д.М. Климов дают такое определение: «Шимми представляет собой явление интенсивных угловых автоколебаний колеса экипажа», [1, с.761, 2010 г.]. Соответствующие этому определению колебания пневмоколес шасси (ПКШ), будем именовать каноническим шимми, а интенсивные не-вертикальные колебания ПКМ иной природы – неканоническим шимми (НКШ). Каноническое шимми имеет место при малом скольжении ПКШ, т.е. проявляется при их качении с малыми углами увода.

В настоящей работе описаны некоторые механизмы НКШ, а именно, механизмы поддержания поперечно-поступательных (или квазипоступательных) колебаний ПКШ самолета и автомобиля, которые проявляются при значительном скольжении ПКШ, что имеет место при значительных углах увода; представлен стенд для наблюдения изучаемых колебаний и предложены меры по их предупреждению. Работа направлена на повышение безопасности движения и ресурса ТПКМ.

## 2. Механизмы неканонического шиммирования

Будем различать линейный, нелинейный и нелинейно-параметрический механизмы НКШ.

**Линейный механизм.** Представим типичные экспериментальные кривые зависимости поперечной силы

трения при установившемся уводе от угла увода, полученные для автомобильных шин, рис. 1, [2], а также простейшую механическую модель подвески ПКШ, предназначенную для описания ее колебаний в направлении оси колеса, рис. 2.

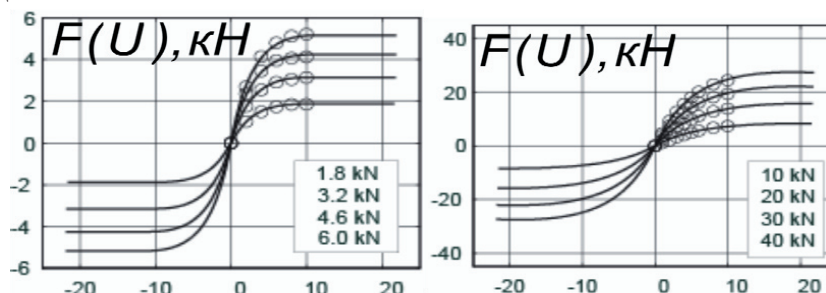


Рис. 1. Зависимости поперечной силы трения от угла увода (в градусах), [2]

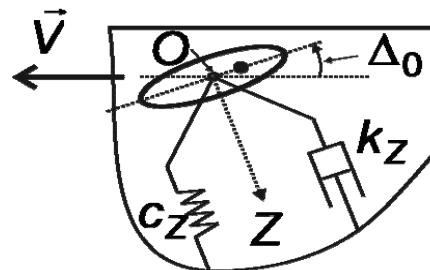


Рис. 2. Модель поперечных колебаний ПКШ

Столбиком на рис. 1 указаны значения нормальной нагрузки на колесо  $N$ .

ТПКМ движется прямолинейно и равномерно со скоростью  $\vec{V}$ . При этом ПКШ повернуто на угол  $\Delta_0$ . Ось координат  $OZ$  направлена по оси ПКШ. При его смещениях вдоль упомянутой оси возникают упругая

сила  $-c\Delta$  и сила вязкого трения  $-k_z(d\Delta/dt)$ . Полагая ем:

1. Центр масс ПКШ  $S$  (черная точка на рисунке) не совпадает с точкой  $O$ , а движение происходит по опорной поверхности, имеющей синусоидальные неровности.

2. Углы увода такие, что справедливо неравенство

$$U \geq U_{cr}, \quad (1)$$

где  $U_{cr}$  – критическое значение угла увода, после которого, т.е. при выполнении (1),

$$F(U) = \text{const}.$$

Запишем уравнение движения ПКШ относительно корпуса в направлении оси  $OZ$  в виде:

$$(m_n + m_\epsilon) \frac{d^2\Delta}{dt^2} + c\Delta + k_z \frac{d\Delta}{dt} = -\mu_* N,$$

где  $m_\epsilon = \sum_{i=1}^n m_{\epsilon_i}$ ,  $m_\epsilon \ll m_n$  – масса ПКШ;

$n$  – число масс, образующих статический дисбаланс ПКШ;

$m_{\epsilon_i}$  – несбалансированная масса с номером  $i$ .

В правой части уравнения записана поперечная сила трения,  $\mu_* = \text{const}$  – коэффициент трения.

Вполне понятно, что при  $n \neq 0$  и/или при движении по синусоидальным неровностям будет выполняться условие:

$$N \neq \text{const}, N = N(t) \quad (2)$$

и, как следствие, появятся вынужденные колебания  $\Delta(t)$ . При определенной для данной модели ТПКМ скорости движения  $V = V_{cr}$ , где  $V_{cr}$  – критическая скорость НКШ, несбалансированность приведет к интенсивным (резонансным) колебаниям  $\Delta(t)$ . К такому же последствию приведет и движение по синусоидальным неровностям, имеющим определенную (критическую) длину волны  $H_{cr}$ . Критическая длина волны зависит от скорости пробежки, т.е.

$$H_{cr} = H_{cr}(V).$$

Линейный механизм проявится особо сильно, если выполняются условия:

$$V = V_{cr}, H = H_* = H_{cr}(V_{cr}).$$

**Нелинейный механизм.** В отдельных случаях при превышении критического угла увода  $U_{cr}$  участок зависимости  $F(U)$  оказывается монотонно убывающим [3]. Такого вида экспериментальные кривые  $F(U)$  встречаются довольно редко, однако упомянутая особенность нашла отражение в основных моделях увода ПКШ [4]. При немонотонной зависимости поперечной силы трения от угла увода и наличии поперечной составляющей скорости оси ПКШ имеет место фрикционная неустойчивость и проявляются автоколебания, имеющие ту же природу, что и хрестоматийные автоколебания груза, лежащего на движущейся под ним ленте [5, 6].

**Нелинейно-параметрический механизм.** При качении ПКШ с углом увода  $U < U_{cr}$  ( $U$  близко  $U_{cr}$ ) нелинейность зависимости  $F(U)$  и условие (2) могут обусловить появление их интенсивных поперечно-поступательных колебаний [7].

## 2. Стенд для наблюдений НКШ

На основе изучения механизмов НКШ можно заключить, что интенсивные поперечно-поступательные колебания шасси ТПКМ наиболее вероятны, если (а) производится пробежка ТПКМ на критической скорости  $V = V_{cr}$  по синусоидальным неровностям опорной поверхности, длина волны которых равна  $H_*$ ; (б) ПКШ несбалансированна и после достаточно резкого поворота на угол порядка 10 градусов удерживаются в повернутом состоянии. Элементы этой ситуации были воспроизведены на стенде-имитаторе (рис. 3), с помощью которого наблюдались колебания НКШ.

## 3. Меры защиты от НКШ

Стратегия защиты от НКШ должна выбираться в каждом конкретном случае. На рис. 4 представлена предлагаемая программа защита от вредных последствий НКШ.



Рис. 3. Стенд-имитатор неканонического шимми

Представляет собой необходимый при проектировании ТПКМ, дополняя работы по безопасности от канонического шимми типичные для машин данного класса, производить оценку безопасности от НКШ. Упомянутую оценку целесообразно начинать с определения критической скорости  $V_{cr}$  и критической длины волны неровностей опорной поверхности  $H_*$ . В программу натурных испытаний нужно включать пробежку «змейкой» на критической скорости при предельно допустимом дисбалансе ПКШ, в ходе которой производить достаточно интенсивные повороты руля с последующим его удержанием. В целях безопасности такой пробежки нужно ее предварить изучением динамики машины в целом и, в частности, колебаний

ПКШ методами математического и физического моделирования.

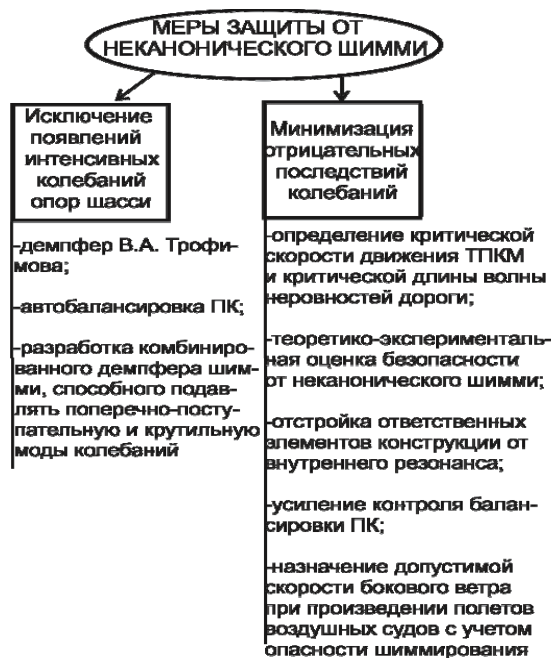


Рис. 4. Программа предотвращения и борьбы с неканоническим шимми

Наиболее радикальным средством борьбы с шимми (каноническим и неканоническим) представляется установка специального демпфера, направленного на эффективное гашение как крутильных, так и поперечно-поступательных колебаний ПКШ. По-видимому, именно такого рода демпфер (на рис. 4 – демпфер В.А. Трофимова) был применен на супертяжелых самолетах Ан-124 и Ан-225 [8].

Целесообразно:

- на ТПКМ любого назначения предусмотреть демпфирование поперечно-поступательных колебаний опор шасси, имеющих природу НКШ;
- разработать демпфер, гасящий и крутильные и поперечно-поступательные колебания опор шасси ТПКМ.

Перечислим некоторые причины дисбаланса ПКШ:

- некачественный монтаж, в частности, из-за недолговечности меток;
- неравномерный износ шин;
- попадания посторонних частиц в «узор» протектора и трещины шины;
- работа шины в широком диапазоне температур, что приводит к перераспределению масс шины (образованию сгустков и т.п. [9]).

Прокомментируем пункт о назначении бокового ветра. Производители самолетов на западе (Boeing, Airbus, Bombardier, Embraer) не ограничивают скорость бокового ветра. В руководство по летной эксплуатации ими вносится максимальный боковой ветер, продемонстрированный в период сертификации или рекомендованный боковой ветер. Далее сам оператор может установить ограничения или принятие решения оставить за командиром воздушного судна. Поскольку боковой ветер является серьезным фактором, могущим при сопутствующих обстоятельствах обусловить появление НКШ, то было бы ошибочным назначать допустимый боковой ветер на основе демонстрационного полета.

## Выводы

1. Предложено различать задачи канонического и неканонического шимми. Определены понятия неканонического шимми, критической скорости НКШ, критической длины волны неровностей опорной поверхности НКШ и описаны три механизма НКШ.
2. Колебания НКШ наиболее вероятны, если:
  - Производится пробегка ТПКМ на критической скорости  $V = V_{cr}$  по синусоидальным неровностям опорной поверхности, длина волны которых равна  $H_*$ . Отметим, скорость  $V_{cr}$  имеет порядок 100 км/ч, а длина  $H_*$  равна длине окружности, радиус которой равен динамическому радиусу ПКШ.
  - ПКШ несбалансированны и после достаточно резкого поворота на угол примерно 10 градусов удерживаются в повернутом состоянии.
3. Представлены стенд для наблюдений колебаний НКШ и программа предотвращения и борьбы с ним.

## Литература

1. Журавлев В.Ф. Теория явления шимми [Текст]/ В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов// Изв. РАН. МТТ. – 2010. - №3. - С.22-29.
2. Rill G. Vehicle dynamics. Lecture notes [Текст]/ G. Rill. - Hochschule Regensburg University of Applied Sciences, 2008. – 189 p.
3. Abzug M.J. Directional stability and control during landing rollout [Текст]/ M.J. Abzug// J. of aircraft. – 1999. - Vol. 36, No 3. - P. 584-590.
4. Радчик Н.В. Tyre and vehicle dynamics [Текст]/ Н.В. Радчик. - Butterworth-Heinemann, 2006. - 642 p.
5. Плахтиенко, Н.П. О поперечных колебаниях шасси самолета [Текст]/ Н.П. Плахтиенко, Б.М. Шифрин // Проблемы прочности.- 2002.- №6. С.79-88.
6. Шифрин Б.М. Фрикционные неустойчивость и колебания самолета на разбеге/пробеге [Текст]/ Б.М. Шифрин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. -2006.- №6/2 (24). С.19-24.
7. Шифрин, Б.М. Совместное влияние нелинейностей трения и параметрических возбуждений на колебания пневмоколесных машин [Текст]/Б.М. Шифрин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 1/5 (37) 2009. С.7-10.
8. Трофимов В.А. Основы проектирования средств гашения поперечных колебаний стоек многоопорного шасси самолетов [Текст]/В.А. Трофимов //Открытые информационные и интегрированные компьютерные технологии: сб. науч. тр./ М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М.С. Жуковського «ХАІ». - X., 2002.-Вып.13. - С.44-50.
9. Rudi H. Problem solved! [Текст]/ Н. Rudi// Aircraft Eng. – 1990. – Vol. 62, №12. - P. 2-4.