

УДК 629.735

DOI: <http://doi.org/10.20535/2219-3804202019194411>

Д. В. Бобко¹, бакалавр, Г. А. Вірченко², професор, д.т.н.

ВПЛИВ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА КРИТИЧНУ ЖОРСТКІСТЬ РУЛЬОВОГО ПРИВОДУ

En

In some modes of movement of the aircraft on the ground, the vibrations of the wheels of its chassis may occur. These oscillations are called shimmies, due to the unstable process of straight rolling of the wheels. Shimmy wheels are associated with the possibility of their angular oscillations relative to the vertical axis. Shimmy type fluctuations can occur for both steered and unmanaged chassis wheels. Rotation of steered and unmanaged wheels relative to the vertical axis at the shim is due to the elastic twisting of the landing gear.

The design of the airplane chassis must ensure that the wheel rolling process is stable in all possible modes of movement of the airplane on the surface. The choice of the parameters of the chassis support, which ensures the absence of shimme, is achieved by the calculation of the wheels on the shimme, as well as laboratory tests on the shim of full-scale installations of the chassis. The maximum allowable parameters for the installation of the chassis are the values at which, based on the results of the calculation and tests, a stable rolling of the wheel in all modes of operation of the aircraft is created with a certain margin. The need for inputs of stock from shimmy wheels on the parameters due to errors in the calculation and testing of wheels on the shim, as well as the variation of the characteris-

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського

² КПІ ім. Ігоря Сікорського

tics of the chassis supports.

The stability of orienting, steered and unmanaged wheels of an airplane from a shimmy is determined by the combination of a large number of values characterizing the properties of the landing gear and the conditions of movement of the airplane. The impact of changing many values of us rolling resistance is difficult depending on other parameters and is not fully taken into account when designing racks. When initially selecting the chassis parameters, it is important to take into account only the most pronounced and slightly changing when other characteristics change the relationship between the parameters, which compliance creates a stable rolling of the wheels.

Parameters that can significantly affect wheel shimmy stability include radius and mass, lateral stiffness of the tire, lateral stiffness of the chassis and its torsional stiffness, wheel removal, shimmy damping resistance and ground speed. The effect of changing the parameters on the rolling resistance of the wheels is usually considered in the relationship between any two parameters that correspond to the boundary of the wheel shimmy at fixed values of other parameters.

Ru

В данной работе с помощью пакета прикладных программ для решения технических вычислений *MATLAB*, в среде графического программирования *Simulink* было проведено исследование влияния технических параметров критической жесткости рулевого привода типового транспортного самолета. Расчет проведен для максимальных и минимальных значений зарядного давления и обжима амортизатора. Обнаружено, что при увеличении обжатия амортизатора от 0 до 127 мм для всех зарядных давлений сопровождается уменьшением значения критической жесткости рулевого привода на кручение. Это связано с увеличением жесткости стояка в точке *O* при увеличении обжатия и неизменным значением боковой и пяточной шероховатостей.

Вступ

На деяких режимах руху літака по землі можуть виникати коливання коліс його шасі. Ці коливання мають назву шиммі – наслідок нестійкого процесу прямолінійного кочення коліс. Шиммі коліс пов'язане із можливістю їх кутових коливань відносно вертикальної осі. Коливання типу шиммі можуть виникати для керованих і некерованих коліс шасі. Поворот керованих та некерованих коліс відносно вертикальної осі у разі шиммі відбувається внаслідок пружного закручування стійки шасі.

Конструкція шасі на літаку повинна забезпечувати стійкість процесу кочення коліс на всіх можливих режимах руху літака по поверхні. Вибір параметрів опори шасі, що забезпечує відсутність шиммі, досягається розрахунком коліс на шиммі, а також лабораторними випробуваннями на шиммі натурних шасі. У якості максимально допустимих параметрів шасі приймаються значення, за яких на основі результатів розрахунків та випробувань створюється, із певним запасом, стійке кочення колеса на всіх режимах експлуатації літака. Необхідність введення запасів обумовлена похибками розрахунків і випробувань коліс на шиммі, а також варіюванням характеристик опор шасі.

Постановка задачі

У роботі досліджується вплив технічних параметрів шасі на критичну жорсткість рульового приводу. На основі отриманих результатів робляться висновки щодо вибору оптимальних параметрів шасі.

Об'єкт дослідження

У даній роботі було досліджено керований стояк передньої опори шасі (ПОШ) типового транспортного літака (рис. 1), яка представляє собою телескопічний стояк із віссю орієнтації, що співпадає із віссю амортизатора.

Вхідні параметри: маса шасі 310 кг; момент інерції відносно осей Ox та Oy 70 кг/м^2 ; маса шини 80 кг; момент інерції частин, що обертаються відносно осі Oz 30 кг/м^2 ; половина відстані між площинами обертання коліс 0,4 м; діаметр шини 1 м; маса шини 79,4 кг; максимальна експлуатаційна швидкість 338 км/год; максимальний зарядний тиск 1,37 МПа.

Стояк обладнаний двома негальмуючими колесами із безкамерними шинами.

Метод дослідження

Для визначення границі області шиммі коліс шасі може бути використаний критерій стійкості Ляпунова [1], критерій Рауса, або будь-який інший метод оцінки стійкості нульового вирішення системи звичайних диференціальних рівнянь із постійними коефіцієнтами. Для цього була створена модель *Simulink* у середовищі *MATLAB*.

Порядок оцінки стійкості нульового вирішення системи диференціальних рівнянь по другій теоремі Ляпунова:

1. У систему підставляється розрахункова точка простору розрахункових параметрів;
2. Шляхом виконання заміни змінних система рівнянь зводиться до системи однорідних диференціальних рівнянь із постійними коефіцієнтами, тобто до системи вигляду

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dy_1}{dx} = a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \dots + a_{1n}y_n, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \frac{dy_n}{dx} = a_{n1}y_1 + a_{n2}y_2 + \dots + a_{nn}y_n ; \end{array} \right.$$

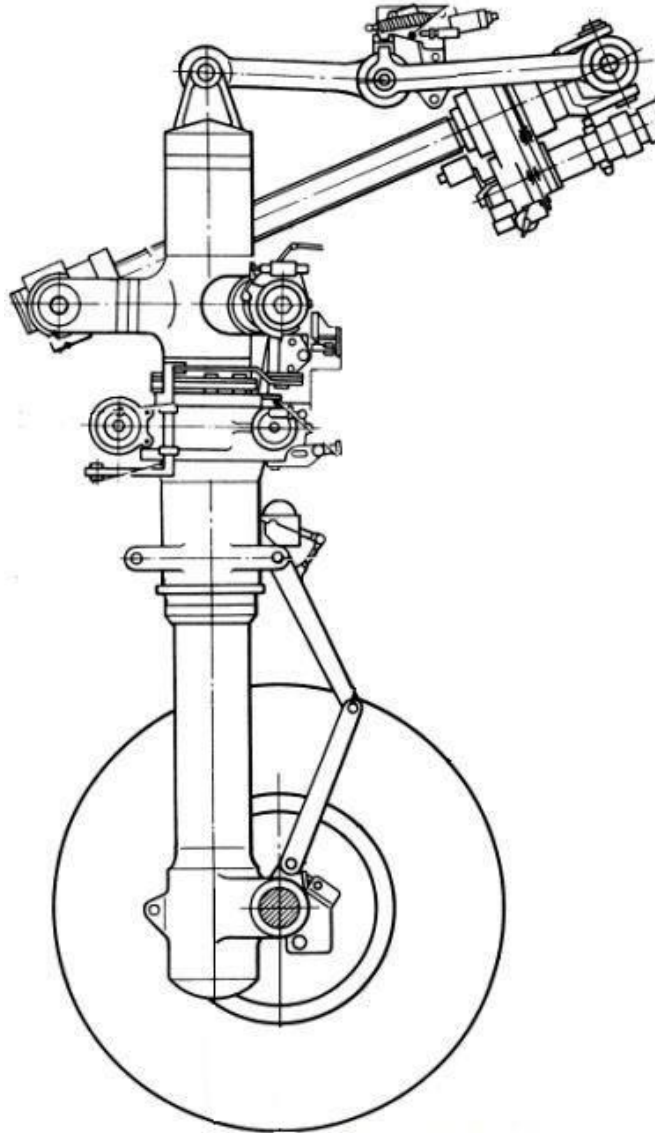


Рис. 1. Стояк ПОШ

3. Знаходиться максимально можливий інкремент коливань $\max(\operatorname{Re}\lambda_i / \operatorname{Im}\lambda_i)$, де λ_i – це зміщення центру контакту шини із землею по нормалі до діаметральної площини колеса;
4. Якщо $\max(\operatorname{Re}\lambda_i / \operatorname{Im}\lambda_i) < \xi$, то система у розглядуваній точці стійка; $\max(\operatorname{Re}\lambda_i / \operatorname{Im}\lambda_i) > \xi$ – нестійка; $\max(\operatorname{Re}\lambda_i / \operatorname{Im}\lambda_i) = \xi$ – границя стійкості, де ξ – прийнятий відносний коефіцієнт затухання коливань стояка;
5. Повернення до пункту 1.

Графік області стійкості будується по тим точкам, для яких виконується умова $\max_{i=1..n} \operatorname{Re}\lambda_i = 0$, або $\max_{i=1..n} (\operatorname{Re}\lambda_i / \operatorname{Im}\lambda_i) = \xi$ у залежності від розглядуваного варіанту стояка. Границя стійкості шиммі коліс шасі визначається у діапазоні швидкостей від 10 м/с до максимальної швид-

кості, встановленої виробником шини з урахуванням нормуючого запасу 18 м/с [2] та діапазоні обжиму амортизатора від нуля до максимально можливого.

Результати дослідження

Для проведення розрахунку границі області шиммі необхідні наступні вихідні дані:

- геометричні (n, d) і масово-інерційні (M, I_x, i) характеристики установки коліс, де n – кількість коліс, d – діаметр шини, M – маса установки, I_x – момент інерції відносно осі OX , i – момент інерції частин, що обертаються;
- матриця податливості стояка у точці O відносно прийнятої системи координат (рис. 1) від п'ятикомпонентного навантаження $(P_x, P_y, P_z, M_x, M_y)$, де (P_x, P_y, P_z) – сили, що діють по осям OX, OY, OZ , (M_x, M_y) – моменти сил відносно осей OX та OY ;
- кут нахилу осі орієнтування δ та винос осі коліс t за різних варіантах обжимання амортизатора;
- маркування шини, її номінальні розміри;
- максимальна експлуатаційна швидкість шини;
- номінальний тиск шини та максимальний тиск із урахуванням перепаду температур;
- жорсткості (a, b, k) і кінематичні (α, β, γ) характеристики шини при номінальному та максимальному тисках у шині й різних варіантах обжимання амортизатора.

Шиммі коліс, зазвичай, розглядаються для двох варіантів тиску: номінального та максимального тиску із урахуванням можливого перепаду температур.

Максимальний тиск з урахуванням можливого перепаду температур – це такий тиск шини у точці вильоту, що забезпечить номінальний тиск у точці приземлення зі значно нижчою температурою. Зазвичай, величина додаткового тиску складає 0,5 атмосфери на кожні 12 °C перепаду температур між аеропортом вильоту та аеропортом приземлення [3].

Побудовано графіки області стійкості стояка ПОШ для дванадцяти варіантів із максимальними та мінімальними значеннями обжимання амортизатора та зарядним тиском.

Перший варіант: обжимання амортизатора $S_{ам} = 0$ мм, обжимання пневматика $\delta_{nn} = 15$ мм, зарядний тиск 0,93 МПа.

Дванадцятий варіант: обжимання амортизатора $S_{ам} = 424$ мм, обжимання пневматика $\delta_{nn} = 58$ мм, зарядний тиск 1,67 МПа.

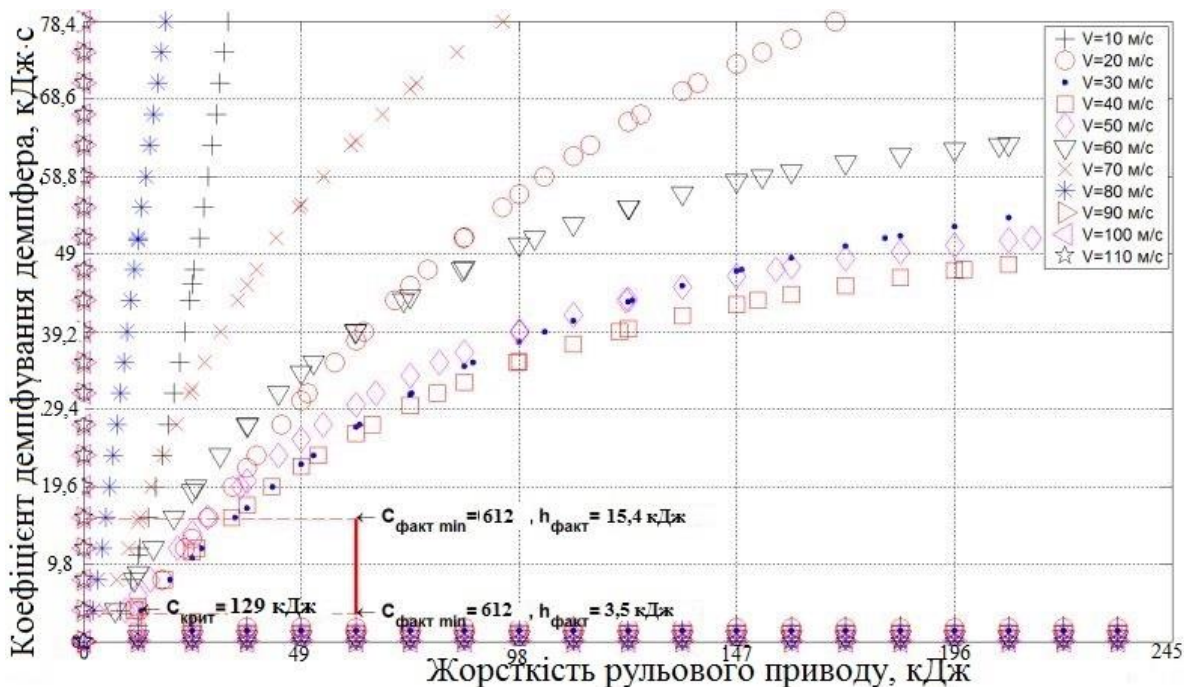


Рис. 2. Границя стійкості коліс шасі (варіант 1)

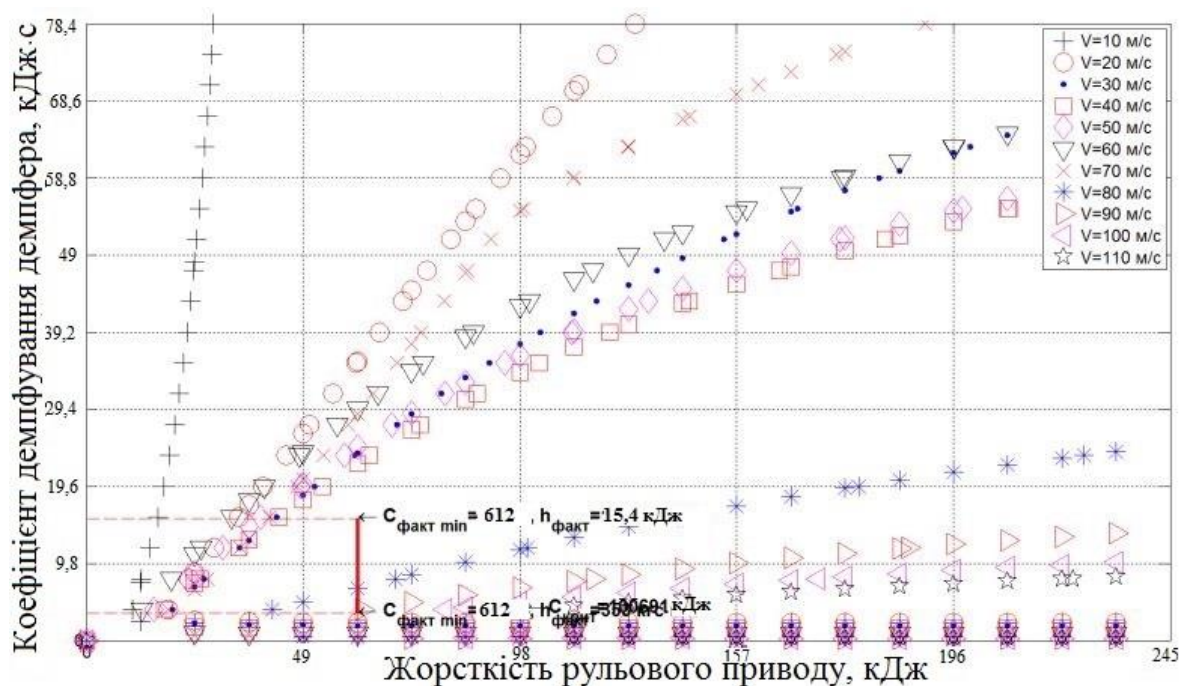


Рис. 3. Границя стійкості коліс шасі (варіант 12)

де V – швидкість руху літака, $C_{\text{крит}}$ – критична жорсткість рульового приводу, $C_{\text{факт}}$ – фактична жорсткість рульового приводу, $h_{\text{факт}}$ – фактичний коефіцієнт демпфування.

Зведені результати розрахунків приведено у табл. 1.

Таблиця 1.

Критична жорсткість рульового приводу

Варіант №	p_0 , МПа	$S_{ам}$, мм	$n \cdot k$, Н/м	$n \cdot a$, Н/м	$n \cdot b$, Н·м	r , м	Скрит, кДж
1	0,931373	0	2391840	1019824	31967,56	0,523	129,04523
2	0,931373	127	2467611	1019824	31967,56	0,513	119,12094
3	0,931373	254	2787934	1052370	63160,45	0,486	137,3122
4	0,931373	424	3216466	1111471	124398,9	0,458	868,45409
5	1,372549	0	2865558	1043358	26083,96	0,526	126,49551
6	1,372549	127	2957117	1043358	26083,96	0,517	117,69898
7	1,372549	254	3408870	1149577	49873,32	0,495	137,09646
8	1,372549	424	3967498	1326615	93411,96	0,473	871,64123
9	1,666667	0	3581965	1117884	20004,24	0,528	129,01581
10	1,666667	127	3544408	1117884	20004,24	0,521	120,33696
11	1,666667	254	3898993	1289881	39822,17	0,501	142,93139
12	1,666667	424	4496502	1606841	78595,09	0,481	987,43773

де p_0 – зарядний тиск шини, $S_{ам}$ – величина обжимання амортизатора, r – радіус обжатої колеса.

Висновки

Із отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

- збільшення обжимання амортизатора від 0 до 127 мм для всіх зарядних тисків супроводжується зменшенням значення критичної жорсткості рульового приводу на кручення. Це пов'язано зі збільшенням жорсткості стояка у точці O у разі збільшення обжимання та незмінним значенням бокової й п'яткової жорсткостей;
- ступінь впливу бокової жорсткості шин на характер області стійкості найбільша. Зі збільшенням бокової жорсткості шин (шляхом збільшення зарядного тиску і (або) обжимання амортизатора) зростає критична величина жорсткості рульового приводу та зменшується розмір області стійкості, незважаючи на ріст жорсткості стояка;
- на малих і середніх величинах обжимання за будь-яких швидкостях руху кочення шини стійке;
- критична швидкість шиммі складає 30-50 м/с, тобто, така у разі якої величина критичної жорсткості рульового приводу максимальна, а розмір області стійкості – мінімальний;
- у разі обжимання амортизатора 424 мм для будь-якого зарядного тиску критична жорсткість рульового приводу перевищує його фактичне зна-

чення, тобто, стояк схильний до автоколивань на великих швидкостях руху літака (80 м/с та вище). Наявного штучного розсіювання енергії не вистачає для забезпечення стійкості від шиммі в усьому розглядуваному діапазоні швидкостей.

Список використаної літератури

1. *Боярчук А. К., Головач Г. П.* Дифференциальные уравнения в примерах и задачах. Справочное пособие по высшей математике. Т.5, М.: Эдиториал УРСС, 2001. 384 с.
2. Руководство для конструкторов по проектированию самолетов. Том 3, книга 6, выпуск 2. Расчет и испытание колес шасси самолета на шимми; ЦАГИ, 1977. 10 с.
3. *Гоздек В. С.* Устойчивость качения заблокированных ориентирующихся колес шасси самолета; Труды ЦАГИ. – 1970. – Вып. 1196. С. 3–18.