УДК 629.7.06:681.5

І. В. Шевчик, В. А. Хлоп’ячий

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ АНТИЮЗОВОЮ АВТОМАТИКОЮ СИСТЕМИ ГАЛЬМУВАННЯ КОЛІС ФРОНТОВОГО ВИНИЩУВАЧА

Анотація. *Проведено аналіз принципу функціонування штатної антиюзової автоматики системи гальмування коліс фронтового винищувача та визначено її основні функціональні обмеження, пов’язані з пороговим принципом визначення передюзового стану та імпульсним характером формування керуючого впливу. Розглянуто можливість переходу до електронного керування за результатами безперервного контролю кутової швидкості колеса та інтенсивності її зміни. Обґрунтовано напрям подальших досліджень, пов’язаний із формуванням закону керування гальмівним тиском за параметрами поточного динамічного стану колеса.*

Ключові слова: *антиюзова автоматика, система гальмування, фронтовий винищувач, керування гальмівним тиском, кутова швидкість колеса, передюзовий стан, оптимізація керування.*

Abstract. *The operating principle of the conventional anti-skid control system of a fighter aircraft wheel braking system is analyzed, and its main functional limitations associated with threshold-based detection of the pre-skid condition and pulse-type control action are identified. The possibility of transition to electronic control based on continuous monitoring of wheel angular velocity and its rate of change is considered. A direction for further research aimed at developing a brake pressure control law based on the current dynamic state of the wheel is substantiated.*

Keywords: *anti-skid control system, wheel braking system, fighter aircraft, brake pressure control, wheel angular velocity, pre-skid condition, control optimization.*

Ефективність гальмування літака під час пробігу після посадки значною мірою визначається можливістю реалізації максимально допустимої гальмівної сили в умовах обмеженого зчеплення пневматиків коліс із поверхнею злітно-посадкової смуги (ЗПС). Надмірне збільшення гальмівного моменту може призводити до значного ковзання або блокування колеса, що супроводжується зниженням ефективності гальмування, погіршенням стійкості руху літака та підвищенням інтенсивності зношування пневматиків. Важливою складовою системи керування гальмуванням фронтового винищувача є антиюзова автоматика, призначена для запобігання переходу коліс у режим юзу.

Робота антиюзової автоматики системи гальмування коліс літака МиГ-29 ґрунтується на застосуванні інерційних датчиків, які реагують на досягнення заданої інтенсивності кутового уповільнення колеса. При виникненні тенденції до юзу мікровимикач датчика замикає електричне коло електропневмоклапана УП-53/1М, унаслідок чого припиняється подача повітря до гальма, а повітря з гальмівної порожнини стравлюється в атмосферу. Після відновлення обертання колеса електричне коло розмикається і гальмування поновлюється. Такий принцип забезпечує імпульсне регулювання гальмівного тиску поблизу рівня, за якого не виникає юзу колеса [1].

Водночас інформаційна частина системи фактично формує лише дискретну ознаку досягнення встановленої умови спрацьовування. Поточні значення кутової швидкості колеса та характер її зміни як безперервні параметри в законі керування не використовуються, що обмежує можливості формування гальмівного моменту відповідно до поточного динамічного стану колеса.

Метою роботи є аналіз можливостей оптимізації керування антиюзовою автоматикою системи гальмування коліс фронтового винищувача шляхом визначення функціональних обмежень існуючого принципу керування та обґрунтування напрямів переходу до керування гальмівним тиском за параметрами поточного стану колеса.

Основним інформаційним обмеженням штатної антиюзової автоматики є пороговий спосіб оцінювання динамічного стану колеса. Інерційний датчик реагує на досягнення заданої інтенсивності кутового уповільнення, однак не формує безперервної кількісної інформації про ω(t) та dω/dt, придатної для реалізації змінного закону керування.

Електричний керуючий сигнал штатної системи має двопозиційний характер: при спрацьовуванні інерційного датчика формується команда на розгальмовування колеса, а після припинення умов спрацьовування – на відновлення гальмування. При цьому закон функціонування системи визначається механічними характеристиками інерційного датчика та динамічними властивостями виконавчого каналу.

Такий принцип забезпечує працездатне імпульсне антиюзове регулювання, однак обмежує можливості програмної зміни параметрів керування та їх адаптації до поточного характеру процесу гальмування. Тому основним напрямом удосконалення доцільно вважати розширення інформаційної бази системи та перехід від механічно заданого порогового закону до електронного формування керуючого впливу за кількісними параметрами руху колеса.

Задачу подальшого удосконалення доцільно розглядати як задачу формування такого закону керування гальмівним тиском, який забезпечує підвищення ефективності використання зчіпних властивостей пневматика із поверхнею ЗПС за одночасного недопущення блокування колеса [2]. Керуючим параметром у такій системі є тиск у гальмівному приводі $p_{\text{г}}(t)$, а основними параметрами, що характеризують динамічний стан колеса, можуть бути його кутова швидкість $\omega(t)$ та швидкість зміни кутової швидкості $d\omega/dt$. За наявності достовірної інформації про поступальну швидкість літака $V(t)$ додатковим інформативним параметром може бути відносне ковзання колеса $\lambda(t)$ [3, 4].

У загальному вигляді закон керування може бути представлений залежністю:

$$p_{\text{г}}(t) = F[\omega(t), d\omega/dt, \dots]$$

Оптимізація не повинна зводитися лише до недопущення блокування колеса. Надмірне зменшення гальмівного тиску також є небажаним, оскільки призводить до неповного використання можливого гальмівного зусилля. Отже, необхідно визначити раціональний закон керування, який забезпечував би високу інтенсивність гальмування за одночасного недопущення надмірного ковзання колеса. Як основні критерії ефективності слід розглядати мінімізацію гальмівного пробігу, запобігання блокуванню колеса та зменшення коливань гальмівного моменту і динамічних навантажень на елементи колеса й гальмівної системи [2].

Штатний інерційний датчик уже використовує швидкість зміни кутової швидкості як ознаку виникнення передумов до юзу, однак реалізує її оцінювання механічним пороговим способом. Перехід до безперервного вимірювання $\omega(t)$ та обчислення $d\omega/dt$ дозволяє отримувати кількісну інформацію не лише про досягнення заданого стану, а й про характер розвитку процесу уповільнення колеса. Це створює інформаційну основу для програмного формування керуючого впливу залежно від поточного динамічного стану колеса.

Відносне ковзання $\lambda(t)$ є більш повною характеристикою режиму взаємодії пневматика із поверхнею ЗПС, оскільки враховує співвідношення між поступальною швидкістю літака та окружною швидкістю колеса. Водночас його використання потребує достовірної інформації про поточну поступальну швидкість літака $V(t)$ [3,4].

Принципова відмінність запропонованого підходу полягає у переході від жорстко заданого порогово-імпульсного принципу керування до програмного формування гальмівного тиску за результатами безперервного оцінювання динамічного стану колеса [5]. Це створює можливість змінювати параметри та структуру закону керування без конструктивної перебудови інформаційної частини системи.

Конкретний тип електропневматичного регулятора тиску та закон його керування мають визначатися з урахуванням обраних інформаційних параметрів, критеріїв оцінювання стану колеса та вимог до динаміки виконавчого каналу. Такий підхід дозволяє розглядати перспективну систему як сукупність інформаційного, обчислювально-логічного та виконавчого рівнів і створює передумови для програмної зміни алгоритму керування без принципової перебудови системи [5].

Висновки

Проведений аналіз показав, що штатна антиюзова автоматика забезпечує імпульсне розгальмовування коліс при виникненні тенденції до юзу. Водночас закон її функціонування визначається механічно заданими характеристиками інерційного датчика та двопозиційним характером електричного керуючого сигналу. Відсутність безперервної кількісної інформації про параметри обертання колеса обмежує можливості програмного формування та оптимізації закону керування гальмівним тиском.

Перспективним напрямом удосконалення є перехід до електронної антиюзової автоматики, в якій керування гальмівним тиском здійснюється за результатами безперервного контролю параметрів обертання колеса, насамперед $\omega(t)$ та $d\omega/dt$. Дослідження доцільно спрямувати на визначення достатнього складу інформативних параметрів, критеріїв оцінювання передюзового стану, формування закону керування гальмівним тиском та оцінювання ефективності запропонованого принципу у порівнянні зі штатною системою.

Список використаних джерел:

1. Літак 9-12 (9-13). Керівництво з технічної експлуатації ГК-473. Книга 4. Авіаційне обладнання. Частина 1. Електрообладнання. Розділ 032.44.00.

2. SAE International. ARP1070E. Design and Testing of Antiskid Brake Control Systems for Total Aircraft Compatibility. 2024. DOI: 10.4271/ARP1070E.

3. Papa G., Tanelli M., Panzani G., Savaresi S. M. Wheel-slip estimation for advanced braking controllers in aircraft: Model based vs. black-box approaches // Control Engineering Practice. 2021. Vol. 117. 104950. DOI: 10.1016/j.conengprac.2021.104950.

4. Papa G., Schiano P., Tanelli M., Panzani G., Savaresi S. M. A wheel slip control scheme for aeronautical braking applications based on neural network estimation // European Journal of Control. 2022. Vol. 68. 100691. DOI: 10.1016/j.ejcon.2022.100691.

5. Yao J., Wang Z., Sun D., Liu X. et al. A novel aircraft anti-skid brake control method based on runway maximum friction tracking algorithm // Aerospace Science and Technology. 2021. Vol. 110. 106482. DOI: 10.1016/j.ast.2020.106482.

Щевчик Ілля Володимирович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, слухач 242 навчальної групи, Харків, Україна; email:shevchik5656@gmail.com*;

Хлоп'ячий Вячеслав Анатолійович *– Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, професор кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів, Харків, Україна; email: 0674648530@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4038-9551*

Shevchyk Illia Volodymyrovych *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, student of 242 training group, Kharkiv, Ukraine; email: shevchik5656@gmail.com;*

Khlopyachyi Vyacheslav Anatoliyovych *– Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Professor, Department of Aviation Equipment of Airplanes and Helicopters, Kharkiv, Ukraine; email: 0674648530@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4038-9551*