

Закревський А.І., канд. техн. наук, **Попелиш І.І.**, канд. техн. наук,
Корітчук С.О.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗЧІПНИХ ЯКОСТЕЙ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Анотація. Безпека виконання злітно-посадкових операцій літаками в процесі зльоту чи посадки визначається умовами взаємодії пневматиків шасі повітряного судна з покриттям, що багато в чому залежить від зчіпних якостей аеродромних покриттів. Зчіпні якості аеродромних покриттів оцінюються коефіцієнтом зчеплення, який залежить від багатьох факторів. Обґрунтована важливість чіткого виконання проектних рішень при будівництві аеродромів, застосування різних методів підтримання належного експлуатаційного стану аеродромних покриттів.

Ключові слова: безпека польотів, зчіпні якості, коефіцієнт зчеплення, відносне ковзання, проковзування, проектні рішення, забруднення аеродромних покриттів, методи очищення, довжина пробігу.

Аннотация. Безопасность выполнения взлетно-посадочных операций самолетами в процессе взлета или посадки определяется условиями взаимодействия пневматиков шасси воздушного судна с покрытием, что во многом зависит от сцепных качеств аэродромных покрытий. Сцепные качества аэродромных покрытий оцениваются коэффициентом сцепления, который зависит от многих факторов. Обоснована важность четкого выполнения проектных решений при строительстве аэродромов, применения различных методов поддержания соответствующего эксплуатационного состояния аэродромных покрытий.

Ключевые слова: безопасность полетов, коэффициент сцепления, относительное скольжение, проскальзывание, проектные решения, загрязнение аэродромных покрытий, методы очистки, длина пробега.

Annotation. Safety performance landing operations aircraft during takeoff or landing conditions determined by the interaction of aircraft pneumatic chassis with a coating that largely depends on the grip of the airport paving. Couplings are rated as airport

paving coupling coefficient that depends on many factors. Substantiates the importance of clear performance design solutions in the construction of airports, the use of different methods of maintaining proper operating condition airport paving.

Keywords: flight safety, coupling quality friction coefficient, relative sliding, slipping, design decisions, contamination airport paving, methods of treatment, length of run.

Одним з важливих факторів забезпечення виконання злітно-посадкових операцій повітряних суден є відповідний експлуатаційний стан аеродромних покриттів.

До параметрів елементів аеродрому, що підлягають обов'язковому контролю, належить, крім інших, коефіцієнт зчеплення, який характеризує зчіпні якості аеродромних покриттів. Ці якості в значній мірі залежать від швидкості літака, дренажних характеристик злітно-посадкової смуги (ЗПС) (профіль поверхні, ухили, макро і мікротекстура), стану пневматика (температура, глибина рисунку протектора) та тиску в ньому, наявності на поверхні покриття забруднювачів (опади, нашарування гуми, нафтопродуктів, пил, пісок, тощо).

Залежність безпеки виконання злітно-посадкових операцій повітряних суден від зчіпних якостей аеродромних покриттів пояснюється тим, що до 60 - 70% кінетичної енергії повітряного судна гаситься при посадці гальмуванням, і отже, якщо відсутні надійні умови гальмування, то неминуча втрата стійкості й керованості повітряного судна. Наслідком цього може бути викочування його за торцьову межу ЗПС або на бічну смугу безпеки. Втрата керованості можлива також при зльоті чи посадці літака в умовах пониженого коефіцієнта зчеплення й наявності бічного вітру підвищеної швидкості.

Коефіцієнт зчеплення μ є найбільш інформативним параметром оцінки стану покриття, який являє собою відношення поздовжньої сили опору до нормальної (вертикальної) сили, які діють на загальмоване колесо в зоні його контакту з поверхнею покриття.

Коефіцієнт зчеплення виражається безрозмірною величиною й набуває значення в діапазоні від 0 до 1.

Аналіз вітчизняних і зарубіжних досліджень показує, що приблизна оцінка величини коефіцієнта зчеплення може бути виконана на основі наступної описаної характеристики стану покриття:

- сухе асфальто- і цементобетонне покриття - $\mu=0,5-1,0$;
- вологе асфальто- і цементобетонне покриття (шар води значно менше висоти виступів шорсткості) - $\mu=0,4-0,6$;
- мокре покриття (шар води на рівні висоти виступів шорсткості, калюжі відсутні, приток води менше дренажної здатності покриття) - $\mu=0,2-0,5$;
- залиті водою покриття (шар води більше висоти виступів шорсткості, приток води перевищує дренажну здатність покриття) - $\mu=0,1-0,5$;
- сніжно-льодовий накат - $\mu=0,1-0,45$;
- сніг, паморозь - $\mu=0,1-0,4$;
- лід - $\mu=0,05-0,4$;
- лід, що тане - $\mu=0,03-0,15$.

У сухому і чистому стані різниця в значеннях коефіцієнта зчеплення для різних ЗПС, як правило, незначна, незалежно від типу покриття і профілю поверхні. Окрім того, значення μ практично не залежить від швидкості повітряного судна.

Проблема зчеплення з поверхнями ЗПС, на яких присутня вода, виражається, головним чином, як проблема дренажу, яка включає в себе такі критерії:

- дренаж поверхні (профіль поверхні, ухили);
- дренаж зони контакту пневматика з покриттям (макротекстура);
- дренаж зони проникнення (мікротекстура).

Дренаж поверхні ЗПС необхідний для того, щоб мінімізувати шар води на її поверхні. Для цього ЗПС повинна мати двосхилий поперечний профіль, відповідні ухили як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках, рівну поверхню.

Дренаж зони контакту пневматика з покриттям особливо важливий для забезпечення достатнього зчеплення на великих швидкостях руху літака. Макротекстуру (текстуру між окремими гранулами покриття), що визначає можливість дренажу в зоні контакту пневматика з покриттям, утворює розмір використовуваного заповнювача або обробка поверхні покриття. Формуванню макротекстури сприяє рифлення поверхні покриття, яке застосовується в багатьох країнах світу. Воно полягає в тому, що на поверхні покриттів ЗПС нарізають поперечні (іноді по напрямку результуючого ухилу) борозенки, частіше усього, квадратного перетину 6×6 мм, хоча в багатьох випадках призначалися й інші розміри - прямокутного перетину - 3×3 , 6×3 (відповідно

ширина й висота), 9x9, 13x6 мм і інші, а також застосовувалися борозенки трапецеїдального й трикутного перетинів. Крок борозенок коливається здебільшого від 25 до 57 мм, хоча є випадки прийняття його рівним 102 і 153 мм. Борозенки нарізають із двома видами крайок: закругленими й гострими. Вважається, що закруглені крайки менше руйнуються, борозенки з ними більш спроможні до очищення, тому що щітки очисних машин проникають до основи, спостерігається менше зношування пневматиків повітряних суден. Однак існує думка, що закруглення крайок знижує зчіпні властивості покриттів. Як показали дослідження, після нарізки борозенок (наприклад, перетином 6x6 мм із кроком 25 мм) товщина плівки води на поверхні ЗПС при помірному дощі не перевищує 0,1 мм. При цьому коефіцієнт зчеплення коліс із покриттям становить 0,67-0,76, тоді як до влаштування рифлення він знижувався до 0,32. Збільшення кроку борозенок з 25-31мм до 73 мм не приводить до істотного зниження коефіцієнта зчеплення, а при цьому вартість рифлення зменшується на 20-25%. Тому борозенки доцільно нарізати із кроком не менш 75 мм. По даним інших досліджень (FAA США) коефіцієнт зчеплення для гладких шин (з великим зношуванням рисунку протектора) на мокрій і залитій водою ЗПС без борозенок становить 0,1-0,15. При наявності борозенок на залитій ЗПС, він збільшується до 0,25-0,48, а на мокрій - до 0,4-0,5.

Влаштування рифлення на поверхні покриттів скорочує довжину пробігу повітряних суден на вологих покриттях на 30-32% у порівнянні із гладкою (не рифленою) поверхнею й на 27% — на сухій поверхні. На вологих поверхнях без рифлення довжина пробігу збільшується на 31 % у порівнянні із сухою поверхнею, тоді як на поверхні з рифленнями тільки на 14%.

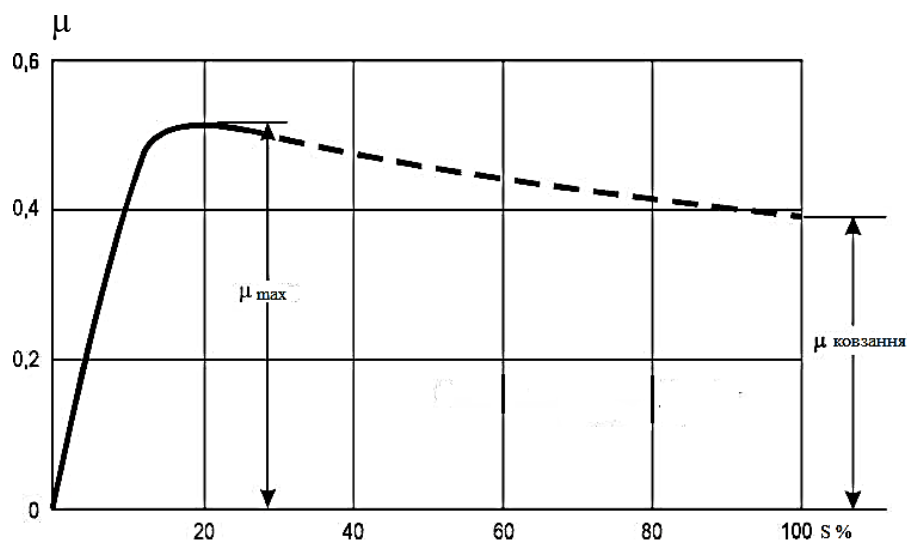
Мікротекстура (текстура окремих гранул заповнювача) є невід'ємною властивістю поверхні покриття й основною характеристикою його зчіпних якостей на невеликих швидкостях руху літака. При цьому дуже важливо вибирати такі заповнювачі, які можуть забезпечити шорстку мікротекстуру, стійку до шліфування.

Досвід літної експлуатації повітряних суден на аеродромах зі штучними покриттями, покритими ущільненим снігом і льодоутвореннями показав, що з точки зору безпеки польотів та з урахуванням рекомендацій ІКАО, оцінене зчеплення на поверхні вважається хорошим, якщо вимірний коефіцієнт зчеплення рівний 0,40 і вище, між середнім і хорошим – 0,39-0,36, середнім – 0,35-0,30, між середнім і поганим – 0,29-0,26, поганим – 0,25 і нижче. Наведені

дані не можна приймати за абсолютні величини, які застосовуються для всіх випадків. У випадку, якщо поверхня покрита снігом чи льодом, а оцінене зчеплення на поверхні ЗПС характеризується як «хороше», пілотам не слід розраховувати на такі ж хороші умови гальмування, як і на чистій, сухій ЗПС. Оцінка «хороше» - це порівняльна оцінка, яка означає, що при цих умовах пілотам буде неважко дотримуватися напрямку і гальмувати, особливо при посадці. Значення виміряного коефіцієнта зчеплення приведені в якості орієнтира. На кожному аеродромі може бути розроблена конкретна таблиця, яка відповідає використовуваному на аеродромі вимірювальному засобу [1]. Від величини коефіцієнта зчеплення залежать злітно-посадкові характеристики повітряних суден. Посадкова дистанція більшості літаків при зменшенні коефіцієнта зчеплення з 0,8 до 0,3 збільшується в 1,2-1,4 рази. Різке зменшення коефіцієнта зчеплення спостерігається при наявності на покритті води й сльоти. У цьому випадку виникає явище глісування коліс повітряних суден. Глісування (іноді називають гідропланування або аквапланування) — ковзання авіаколіс по ЗПС без контакту з поверхнею покриття.

Правильне прогнозування дистанції гальмування є однією з умов забезпечення зльотів і посадок повітряних суден. Прогнозування дистанції гальмування здійснюється екіпажем повітряного судна на основі інформації про стан поверхні покриття, який на сьогодні оцінюється по величині коефіцієнта зчеплення. Коефіцієнт зчеплення є характеристикою процесу й умов взаємодіючих контактуючих тіл. Він не є постійним і змінюється залежно від ступеня відносного ковзання (проковзування) авіаколіс, швидкості руху й інших факторів (тиску в шинах, рисунку й ступеня зношування протектора, температури нагрівання шин та ін.). Відносна величина проковзування $S = (V_k / V_{пс}) * 100\%$ де V_k - швидкість руху точок поверхні авіаколеса, відносно поверхні покриття; $V_{пс}$ - швидкість руху літака. Коефіцієнт зчеплення на початковому етапі гальмування по мірі збільшення відносного ковзання авіаколіс зростає й при $S = 15-25\%$ досягає максимальної величини. При подальшому гальмуванні коліс і збільшенні значень S величина коефіцієнта зчеплення починає поступово знижуватися до певних значень. З наведеної на рис.1 кривої залежності μ від S видно, що при відсутності проковзування ($S=0$) коефіцієнт зчеплення являє собою коефіцієнт опору коченню колеса μ_0 , що має досить мале значення. На початковому етапі гальмування по мірі збільшення відносного ковзання колеса, коефіцієнт зчеплення зростає,

досягаючи при певних значеннях S свого максимального значення μ_{\max} . При подальшому посиленні гальмування коліс і збільшенні значень S коефіцієнт зчеплення починає поступово знижуватися й при повному блокуванні коліс ($S=100\%$) тобто при юзі, досягає свого найменшого значення $\mu_{\text{ковз.}}$ (коефіцієнт зчеплення- ковзання).



Вільне обертання Заблоковане колесо Коефіцієнт ковзання S (%)

Рисунок 1 - Залежність між відсотком ковзання S і коефіцієнтом зчеплення μ на ЗПС

Розглянуті дані свідчать про небажаність використання юзу як режиму гальмування коліс літаків. По-перше, юз характеризується зниженим значенням коефіцієнта зчеплення, що погіршує умови гальмування літаків. По-друге, при юзі значно знижуються шляхова стійкість і керованість літаків при пробігу по ЗПС після приземлення. По-третє, спостерігається інтенсивне зношування шин авіаколес (при юзі гума стирається, плавиться й горить). У - четвертих, відбувається забруднення гумою кінцевих ділянок покриттів ЗПС (розігріта гума шин стирається і заповнює западини між виступами мікро і макрошорсткості поверхні покриття). З метою реалізації як можна більших значень коефіцієнта зчеплення й запобігання виникнення юзу сучасні літаки оснащені спеціальними автоматичними системами гальмування. Автомати розгальмовують колеса, як тільки відбувається затримка їх обертання, і забезпечують режим гальмування з відносним ковзанням коліс близько 15 %, при якому коефіцієнт зчеплення є найбільш високим. У цих

умовах юз може мати місце лише при розкручуванні коліс у момент приземлення літака або ж частково при несправності автоматів.

Як вже відзначалось, наявність води, сльоти приводить до різкого зниження коефіцієнта зчеплення коліс літаків з поверхнею покриття. З метою запобігання випадків виникнення глісирування коліс літаків і підвищення коефіцієнта зчеплення, необхідно насамперед вчасно і якісно проводити роботи з очищення покриттів ЗПС від опадів, а також застосування наступних заходів:

- будівництво ЗПС із максимально можливими поперечними ухилами (з метою прискорення стоку дощової води);

- влаштування асфальтобетонних покриттів з підвищеним вмістом у верхньому шарі щебеню фракцій 15-20 мм, що забезпечує одержання збільшеної висоти макрошорсткості поверхні асфальтобетону;

- застосування дренажних покриттів з пористого асфальтобетону, здатного інтенсивно усмоктувати дощову воду (з коефіцієнтом пористості 10-15% і вище);

- нарізка на поверхні бетонних і асфальтобетонних покриттів ЗПС поперечних дренажних борозенок, призначених для прискорення відводу дощової води з поверхні покриття й підвищення коефіцієнта зчеплення.

Актуальною проблемою сучасних аеродромів є забруднення гумою поверхні злітно-посадкової смуги, особливо її кінцевих ділянок, де відбувається розкрутка коліс літака при його посадці. Процес розкручування коліс до повної кутової швидкості обертання відбувається за дуже короткий проміжок часу (0,07-0,12) сек., що супроводжується виділенням великої кількості тепла в точці приземлення, при цьому гума плавиться й горить. Гума шин, що розплавляється й стирається, поступово заповнює западини між виступами макро і мікрошорсткостей покриття й може утворювати суцільний шар гумових відкладень чорного кольору, товщина якого при інтенсивній експлуатації ЗПС може досягати 2-3мм. Забруднення гумою знижують коефіцієнт зчеплення на ЗПС: на сухих покриттях - до значень 0,45-0,55, а при наявності на поверхні покриття шару води глибиною більше 0,25 мм - до значень 0,28-0,32. Крім того, вони приводять у непридатність маркувальні знаки які наносяться на покриття.

У світовій практиці експлуатації аеродромів застосовують наступні способи видалення гумових відкладень на поверхні аеродромних покриттів: хімічний; гідродинамічний; механічний, дробоструменевий.

Хімічний спосіб передбачає обробку забруднених ділянок аеродромних покриттів відповідними складами на основі кислоти - для цементобетонних покриттів, і луги - для бітумінозних покриттів. Час протікання реакції після розподілу хімікату становить не більше години в залежності від товщини гумових відкладень. Протягом цього часу гума відстає від поверхні покриття і її змивають струменем води під тиском. Після цієї дії оброблену ділянку очищають за допомогою вакуумної підметально-прибиральної машини, яка засмоктує залишки гуми, що відшарувалися від покриття. Кількість води, яку використовують для змиву, повинна бути досить великою, щоб водний розчин хімікатів не руйнував внутрішню поверхню елементів водовідвідних споруд. При цьому повинні бути вжиті необхідні заходи по охороні довкілля.

Гідродинамічний спосіб передбачає видалення гуми струменем води під високим тиском (2500-3500МПа), який забезпечується спеціальним устаткуванням. Таке устаткування складається з ємності з водою, насоса високого тиску, що подає воду через сопла на поверхню покриття під кутом до неї. Відкладення гуми під дією водяних струменів високого тиску відділяються від покриття й видаляються за його межі. Остаточне очищення покриття проводиться вакуумними підметально-прибиральними машинами. Потрібно, однак, відзначити, що очищення покриттів від забруднень гумою водяним струменем під високим тиском є ефективним лише на слабозабруднених ділянках, зі збільшенням товщини відкладень його ефективність знижується.

Як показує практика, гідродинамічний спосіб очищення добре поєднувати з хімічним (спочатку забруднені ділянки обробляються хімікатами, а потім водяним струменем під високим тиском).

Механічний спосіб - це спосіб фрезерування поверхні покриття за допомогою спеціального механічного устаткування (фрези). При фрезеруванні видаляється шар гуми й одночасно поверхні покриття надається шорсткість. Після такої обробки покриття підметально-прибиральними машинами видаляються залишки гуми.

В практиці експлуатації аеродромів знаходить застосування також **дробоструменева** обробка поверхні ЗПС.

Технологія видалення гуми така, що металевий дріб і гума не залишаються на поверхні ЗПС, тому вона відразу ж готова до експлуатації, її не потрібно прибирати і сушити. Продуктивність дробоструменевого устаткування до 3000 м²/г.

Загальним недоліком описаних способів видалення гуми є те, що вони дозволяють покращити експлуатаційний стан покриттів лише тимчасово. Приблизно через 300-500 злітно-посадкових операцій після видалення гуми, поверхня покриття значною мірою знову забруднюється, її зчіпні якості погіршуються. У великих аеропортах видалення гуми на кінцевих ділянках необхідно здійснювати двічі на рік.

Висновки

1. Зчіпні якості аеродромних покриттів, які забезпечують шляхову стійкість і керованість повітряного судна при виконанні злітно-посадкових операцій є важливим фактором убезпечення польотів.
2. Коефіцієнт зчеплення, яким оцінюються зчіпні якості аеродромних покриттів, є результатом процесу й умов взаємодії контактуючих тіл.
3. Коефіцієнт зчеплення не є постійною величиною для конкретного аеродрому і змінюється залежно від багатьох факторів, таких як проектні рішення (профіль поверхні ЗПС, величина ухилів, склад суміші, що укладається), конструктивні (рифлення поверхні шляхом нарізання борозенок), експлуатаційні (очищення поверхні ЗПС від різних видів забруднювачів).
4. Максимальні значення коефіцієнта зчеплення досягаються при 15-20% відносному проковзуванні коліс літака, яке забезпечується конструкцією гальмівної системи шасі повітряного судна.
5. Безпека виконання злітно-посадкових операцій повітряних суден є результатом взаємодії окремих характеристик динамічної системи: пілот – повітряне судно – стан покриття.

Література

1. Руководство по аэропортовым службам (Дос.9137-AM/898). Часть 2. Состояние поверхности покрытия. Четвертое издание. - Монреаль: ИКАО, 2002.
2. Циркуляр ИКАО 329-AN/191. Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных. ИКАО, 2012г.
3. Шишков А.Ф., Запорожець В.В., Билякович О.М. Аэропорт: Теория й практика зимового утримування аеродромів. -К.: Дніпро, 2006р, 196с.
4. Белинский А.А., Закревский А.И., Шинкарчук Н.В. Техническая эксплуатация аэродромов.- Киев: КМУГА, 1996.-240с.

Рецензенти

I.V. Kiiashko, канд. техн. наук, ХНАДУ (Київ)
С.Й. Солодкий, д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка" (Львів)

Reviewers

I.V. Kiiashko, Ph.D., KhNAHU (Kharkiv)
S.Yo. Solodkyi, Dr.Tech.Sci., "Lviv Polytechnic" (Lviv)