

Фізичні основи класифікації стану поверхні покриття аеродромів та автошляхів при атмосферних опадах

Безпека зльоту і посадки, які відносяться до складних етапів польоту, в визначній мірі залежить від правильного і своєчасного контролю стану поверхні покриття злітно-посадкових смуг (ЗПС). Оцінюється стан поверхні величиною зчеплення між спеціальним колесом і поверхнею, що характеризується коефіцієнтом зчеплення ($K_{зч}$), та наявністю, висотою і станом атмосферних опадів на покритті. У цій публікації не розглядаються існуючі недосконалі способи вимірювання $K_{зч}$ аеродромними машинами, а розглядається лише класифікація, що пов'язана лише з висотою шару води на покритті. Відмітимо лише, що у зв'язку з суттєвою відміною зчеплення поверхні покриття з колесом літака, особливо при посадці, запропоновано вже більше десяти способів вимірювання $K_{зч}$ і з'являються все нові. Оскільки давно помічено, що від висоти шару опадів суттєво залежить зчеплення колеса з покриттям (рис.1.), були навіть спроби замінити недосконалі способи вимірювання $K_{зч}$ вимірюванням висоти шару опадів.

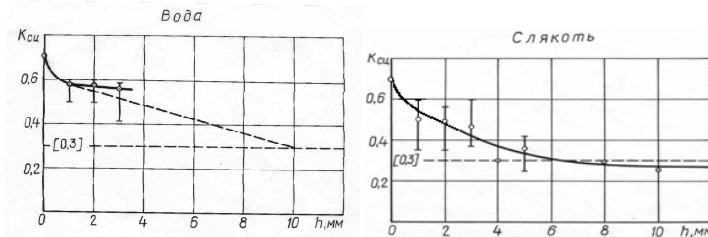


Рис.1. Залежність коефіцієнта зчеплення від висоти та виду опадів на ЗПС

Діюча класифікація стану поверхні [1] носить якісний характер і після рекомендацій ІКАО була 25 років тому затверджена нормативами по експлуатації аеродромів [2.3] у наступному вигляді:

- **«Волога – поверхня змінює колір внаслідок наявності вологи.**
- **Мокра – поверхня просякнута водою, але стояча вода відсутня.**
- **Ділянки води – видно ділянки стоячої води.**
- **Залита водою – видна значна площа, вкрита стоячою водою».**

У подальшому, при перевиданні відповідних документів ІКАО [перше видання у 1990 р., а останнє, п'яте, у 2014 р], ці рекомендації не змінились.

Але, поряд з цією оцінкою, що відноситься до центральної частини ЗПС, по можливості, рекомендується міряти глибину шару води на кожній третині довжини ЗПС з правого і лівого боку на відстані 5-10 м від осі.

Недолік такої візуальної, якісної класифікації, перш за все, у необхідності припинення польотів і виїзді на ЗПС машини аеродромної служби. Коефіцієнт зчеплення вимірюється автоматичними пристроями і

відображається на діаграмі. Для вимірювання глибини шару води чи сльоти пропонувались різноманітні датчики, але із-за недосконалості вони так і не знайшли широкого застосування і у більшості аеропортів глибина шару води вимірюється вручну. До недоліків оцінки стану поверхні слідє віднести також недостатню визначеність класифікації. Більш-менш конкретно є перший стан поверхні, коли вона змінює колір і стає більш темною. Але на скільки повинен змінитись колір не конкретизується. З іншого боку, волога поверхня несуттєво впливає на коефіцієнт зчеплення і від ступеню вологості залежить лише прогноз стану поверхні і спосіб обробки покриття при очікуванні льодоутворень. На вологих поверхнях не було відмічено випадків глісування літаків. До більш небезпечного стану поверхні відноситься другий її стан - мокрий. В аеропорту Орлі був відмічений випадок глісування на ЗПС при шарі води висотою всього 0,6 мм, згідно якому по класифікації, що існувала до теперішньої, стан покриття відносився вже до мокрого. Причин, чому було прийнято вважати покриття мокрим при глибинах води від 0,25 до 1 мм, ніде не приводиться. До недостатньо конкретних відносяться і такі характеристики існуючої класифікації як «просякнута водою», «ділянки води», «стояча вода», «значна площа». Ці характеристики носять достатньо невизначений якісний характер, що врешті-решт може суттєво порушувати безпеку польотів.

Свого часу, на початку 80-х років, в рекомендаціях ІКАО пропонувалась, і увійшла в нормативні на той час документи аеродромних служб [4] «кількісна» оцінка стану поверхні, в якій вказувались конкретні значення висоти шару води h на ЗПС:

- «Волога» - при висоті h 0,25 мм;
- «мокра» - при 0,25 h 1 мм;
- «залита водою» - при 1 h 2,5 мм;
- «затоплена» - при h 2,5 мм.

Слідє підкреслити, що за виключенням першого стану поверхні, - вологого, - ніде не приводяться причини, чому саме такі висоти шару води були прийняті для характеристики стану поверхні. Зустрічається лише пояснення, що висоти прийняті для зручності користування кратними дюйму або його частці (1 дюйм=2,54 мм).

Можна лише припустити, що вологою названа поверхня, що стає темною внаслідок переломлення і поглинання плівкою води частки променів світла. Але досліджень в цьому напрямку не проводилось і число 0.25 мм ще потребує уточнень. Можливо, що не колір покриття, а щось інше має більш важливе значення.

Однак, оскільки не існувало простих і досить надійних способів вимірювання малих висот шару води, а через рухливість води і зміни інтенсивності дощів у часі висота шару на покритті досить швидко змінюється і, крім того, через значну нерівність поверхні багатьох ЗПС, визначення середньої висоти на всій смузі виявилось достатньо трудомісткою операцією, тому одержувані, особливо при глибинах більше 2–3 мм, результати ручних вимірювань були недостатньо точні, і через деякий час кількісна класифікація була замінена більш простою, якісною, що наведена на початку статті.

Одночасно в ІКАО було прийнято рішення про недоцільність стандартизації датчиків глибини шару води та не перспективність їх розробки, оскільки не було відомо, як за показаннями датчиків отримати глибини шару води на всій поверхні ЗПС, скільки знадобиться датчиків і де їх ставити. Замість розробки датчиків на початку 90-х років було прийнято рішення направити зусилля на пошуки способів запобігті глісуванню. За минулі 25 років дещо вдалося зробити, - збільшили тиск у пневматиках до 15 МПа, збільшили поперечний ухил покриття до 0,02, на поверхні ЗПС почали підвищувати шорсткість, або нарізати канавки, - проте, як і раніше, періодично виникають випадки глісування, а спосіб визначення стану поверхні залишається трудомістким і неточним.

В той же час, ще у дев'яності роки того сторіччя дистанційно вимірювали глибину шару в аеропорту Мельбурна Тулламарін. Були також повідомлення про вирішення цієї проблеми в США в аеропорту Сент-Луїс. У 1984р. в Києві у Національному авіаційному університеті також був запропонований дистанційний датчик глибини шару води на ЗПС [5], що був випробуваний у реальних умовах [6], пройшов державну атестацію і рекомендований як робочий засіб вимірювання. Звісно, запропоновані дистанційні способи вимірювання ще потребують доробки, але проведені з допомогою автоматичних датчиків дослідження в лабораторії та на ЗПС доводять принципову можливість переходу від якісної, недосконалої класифікації до більш точної, що, подібно колись запропонованій, включає числові характеристики. Більш того проведені дослідження виявили ряд особливостей стікання води, що дозволяють по показанням датчиків, розташованих у характерних місцях покриття, визначити стан всієї ЗПС і дистанційно контролювати як висоту шару води чи сльоти на всій поверхні, так і дійсний коефіцієнт зчеплення. Крім того, проведені дослідження дозволяють теоретично обґрунтувати межі зміни характеристик у класифікації стану поверхні по висоті шару опадів для конкретної ЗПС. На рис. 2 і у таблиці на основі даних, отриманих при дослідженні, відображено, як змінюються з глибиною до 10 мм питомі енергії E^* потоку при ухилі поверхні 0,01

Тривалі спостереження приводять до висновку доцільності введення окремого виду потоків, що спостерігаються на поверхнях, подібних поверхням ЗПС та автошляхів, - потоків малої глибини. До таких потоків пропонується відносити потоки, для яких поверхневий натяг рідини у співставленні з іншими факторами, - гравітаційними силами чи швидкісним напором,- або суттєво їх перевищує, що спостерігається якраз до характерної глибини 2,5 мм, або є значущим – практично до 10 мм .

h , мм,	ρgh , Н/м ²	$\rho V^2/2$, Н/м ²	σ/h , Н/м ²
0,25	2,45	–	296
0,5	4,9	0,002	148
1	9,8	4	74
3	29,4	14,4	24,7
10	98,1	130	7,4

За питому енергію взята, як це часто приймається, робота, що віднесена до об'єму рідини. На основі цих даних пропонується для потоку малої глибини у рівняння Бернуллі ввести додатковий член, що враховує коефіцієнт поверхневого натягнення рідини σ –

$$\rho gh + P + \rho V^2/2 - \sigma/h = \text{const} \quad (1)$$

Тут ρgh – ваговий тиск; P – статичний тиск; $\rho V^2/2$ – динамічний тиск; σ/h – опір тиску від поверхневого натягнення – новий, запропонований член у рівнянні.

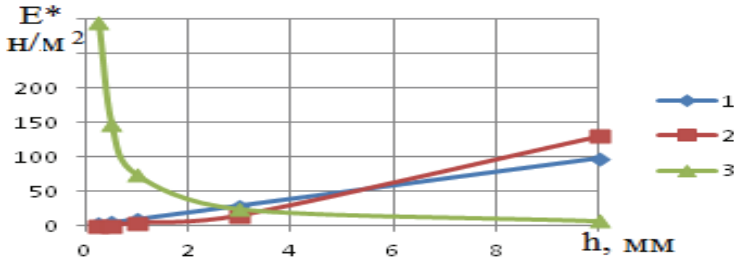


Рис.2. Вплив глибини на питому енергію потоку E^* , виражену у н/м^2 : 1 – ваговий тиск (ρgh); 2 – динамічний тиск ($\rho V^2/2$); 3 – опір тиску від поверхневого натягнення (σ/h)

Вплив поверхневого натягнення відбувається зворотно-пропорційно глибині шару води h , оскільки аналогічно трьом іншим членам рівняння, цей член також являє собою відповідну роботу, віднесену до одиниці об'єму w . Дійсно, перший член відображає собою роботу по під'йому маси m у гравітаційному полі на висоту h - $mgh/w = \rho gh$. Другий - роботу на стискання тиском P об'єму w - $Pw/w=P$ (цей фактор в даних умовах на рух потоку не впливає). Третій - відображає роботу при русі тіла масою m зі швидкістю V - $mV^2/2w = \rho V^2/2$. І, нарешті, по аналогії, пропонується новий член, що відображає роботу сил поверхневого натягнення рідини на утворення поверхні площею s - $\sigma s/w = \sigma/h$.

Список літератури

1. Международные стандарты и рекомендуемая практика. Аэродромы. Том 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Издание 5, ИКАО, Монреаль, 2009.-283 с. (Издание первое-90 г., второе-95 г.,третье-99 г., четвертое- 2004 г.).
2. Наставление по аэродромной службе в гражданской авиации СССР (НАС ГА-86). Изд-во «Воздушный транспорт». – М.: 1987. - 287 с. 11с.

3. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ-94) -М.: Изд-во «Воздушный транспорт», 1996. -193 с.
4. Наставление по аэродромной службе в гражданской авиации СССР (НАС ГА-80). Изд-во «Воздушный транспорт». – М.: 1981. – 311 с. 14 с.
5. *Кривенко Ю. Н., Андрущак Л. Н.* КИИГА. Авт. свид. №1125473 «Датчик глубины слоя жидкости на поверхности покрытия» МКИ 01 23/14. Оpubл. 23.11.84, бюл. № 43.
6. *Кривенко Ю. М.* Дистанційний контроль стану поверхні злітно-посадкових смуг. Вісник Національного авіаційного університету. – К. 1(12), 2002. – С. 188–192.