

УДК 625.717.001.2(045)

<sup>1</sup>В.М. Золотоперий, канд. техн. наук  
<sup>2</sup>Д.С. Шинкарьов

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОПЕРЕЧНИХ УХИЛІВ ПОВЕРХНІ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ З ТВЕРДИМ ПОКРИТТЯМ З УРАХУВАННЯМ ЯВИЩА ДИНАМІЧНОГО ГІДРОГЛІСУВАННЯ ЛІТАКІВ

НАУ, кафедра реконструкції аеропортів та автошляхів  
e – mail: <sup>1</sup>kpk@nau.edu.ua; <sup>2</sup>f11skin@ukr.net

*Запропоновано інженерну методику розрахунку мінімально допустимих ухилів поверхні злітно-посадкової смуги з твердим покриттям різних класів цивільних аеродромів для різних зливових районів. Сформульовано рекомендації з проектування поперечних профілів твердих покриттів злітно-посадкової смуги та застосування спеціальних заходів щодо запобігання виникнення динамічного гідроглісування коліс літака.*

### Вступ

Динамічне гідроглісування літака – це процес ковзання його коліс по шару дощової води, що знаходиться на поверхні злітно-посадкової смуги з твердим покриттям (ТЗПС), без дотику до самого покриття. Фізична сутність динамічного гідроглісування на відміну від в'язкого та парового глісування, які виникають з інших причин, полягає в тому, що під час руху літака по ТЗПС за наявності на ній води під колесами в зоні контакту з покриттям виникає водяний клин, який викликає гідродинамічний тиск на шини.

У разі збільшення швидкості руху цей тиск зростає. На швидкості глісування  $V_{гл}$  його вертикальна складова досягає вертикального навантаження на колеса літака. Від цього моменту колеса “спливають” і починають ковзати по шару води без зчеплення з покриттям, що супроводжується практично повною втратою ефективності колісного гальмування та значним погіршенням шляхової рівноваги при керуванні літаком. Все це може призвести до викочування літака за межі ТЗПС під час розбігу при зльоті та пробігу при посадці.

### Постановка проблеми

Утрата зчеплення коліс літака з аеродромним покриттям є дуже впливовим фактором, який здатний значно знизити рівень безпеки польотів на аеродромі та їх регулярність. Для запобігання цього необхідно вжити заходи, які дозволяють надійно здійснювати відведення дощових вод. Передусім все це стосується числових значень ухилів поверхні ТЗПС.

Діючі нормативні вимоги до числових значень поперечних ухилів поверхні ТЗПС були встановлені багато років тому з урахуванням експлуатації певних типів літаків того часу, здебільшого вітчизняного виробництва.

Наразі після відповідної реконструкції аеродромів в експлуатацію вводяться нові більш важкі типи літаків вітчизняного та іноземного виробництва, які мають більш високу швидкість наземного руху.

Чинні будівельні норми і правила проектування цивільних аеродромів (СНіП 2.05.08–85) не містять обґрунтованих вимог щодо урахування можливості виникнення динамічного гідроглісування літаків.

**Мета** дослідження – розробити інженерну методику розрахунку мінімально допустимих поперечних ухилів поверхні ТЗПС за умов запобігання динамічного гідроглісування літаків. Важливим завданням дослідження є експериментальне підтвердження основних теоретичних положень методики.

### Основна частина

Як показують дослідження, динамічне гідроглісування коліс літака може виникнути лише за наявності на покритті шару води товщиною не менше критичної товщини  $h_{кр}$ . Саме ця умова і дозволяє встановити функціональну взаємозалежність між явищем динамічного гідроглісування та ухилами поверхні ТЗПС, які безпосередньо впливають на формування поверхневого стікання води з покриттів. Тому числові значення мінімально допустимих ухилів поверхні ТЗПС можуть бути знайдені при розв'язанні задачі з урахуванням обмеження товщини шару стічної води  $h_{кр}$ .

Динамічне гідроглісування коліс літака може виникнути також за наявності на покритті шару сльоти – рідкої суміші кристалів криги або снігу та води. Однак щодо розв'язання поставленого завдання цей випадок не є значущим, тому що формування шару сльоти практично не залежить від ухилів поверхні ТЗПС у межах реальних значень.

Використовуючи рівняння, що були опубліковані В.В. Часовніковим [1], можна запропонувати досить універсальну розрахункову залежність, що дозволяє визначити  $h_{кр}$ :

$$h_{ед} = \frac{0,72\Delta}{\sqrt{1 - \varphi_{i/a}}}; \quad (1)$$

$$\varphi_{i(a)} = \frac{2cq_0}{\rho V_{i/a}^2},$$

де  $\Delta$  – середня абсолютна висота виступів мікрошорсткостей покриття;  $c$  – коефіцієнт, що характеризує радіальну та кругову пружність шин коліс основних опор літака (рекомендується брати  $c = 1,2$ );  $q_0$  – тиск повітря у пневматиках коліс основних опор літака;  $\rho$  – масова щільність води ( $\rho = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^2 / \text{см}^4$ );  $V_{\text{п/в}}$  – посадкова швидкість літака під час посадки або швидкість відриву під час зльоту.

Для описання процесу стікання води з поверхні ТЗПС можна використати рівняння нерозривності потоку:

$$\frac{dh}{dt} + \frac{dq}{dL} = I, \tag{2}$$

де  $h$  – товщина шару води, що стікає;  $t$  – час стікання;  $q$  – витрата стікання;  $L$  – довжина ділянки стікання;  $I$  – розрахункова інтенсивність дощу.

Розглядаючи сталий режим стікання, що характеризується сталістю у часі товщини шару води в кожній точці поверхні покриття  $\left(\frac{dh}{dt} = 0\right)$ , можна

визначити товщину шару, що стікає. Вона знаходиться за умови, що витрата  $q$  з одиниці ширини ділянки покриття дорівнює добутку товщини шару і середній швидкості стікання води  $V$  у перерізі, що розглядається. Тоді із рівняння (2):

$$Vh = LI,$$

звідки

$$h = \frac{LI}{V}. \tag{3}$$

Швидкість стікання води з поверхні твердого покриття може бути визначена за формулою, запропонованою В.М. Гончаровим:

$$V = 23,9 \left(\frac{h}{\Delta}\right)^{0,2} \sqrt{hi}, \tag{4}$$

де  $i$  – ухил поверхні покриття у напрямку стікання.

На підставі формул (3), (4) знаходимо залежність, яка надає можливість розрахувати товщину шару води, що формується в результаті випадіння дощу та стікає по поверхні аеродромного покриття:

$$h = \left(\frac{IL\Delta^{0,2}}{45300\sqrt{i}}\right)^{0,6}. \tag{5}$$

Оскільки залежність (5) отримана теоретичним шляхом, то її використання для розрахунку мінімально допустимих поперечних ухилів поверхні ТЗПС потребує експериментального підтвердження. З цією метою можна скористатися опублікованими даними [2] експериментальних досліджень, які були виконані групою експертів міжнародної організації цивільної авіації (ICAO).

Експериментальні криві за даними експертів ICAO  $h = f(L)$  та теоретичні криві, що отримані за формулою (5) відповідно до умов експерименту (ухил бетонної поверхні  $i = 0,01$ , мікрошорсткість  $\Delta = 2 \text{ мм}$ , швидкість вітру дорівнює нулю), показано на рис. 1.

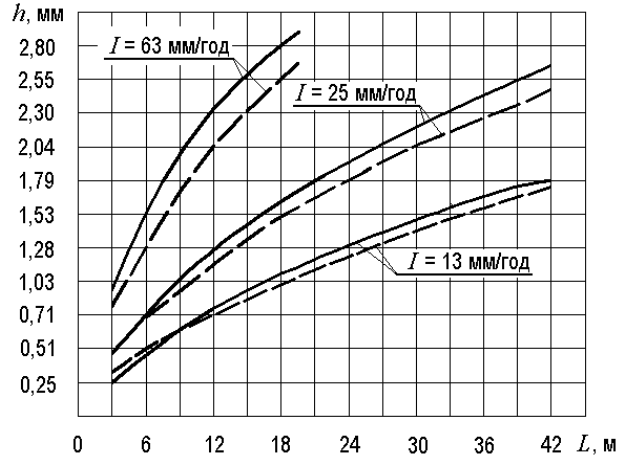


Рис. 1. Експериментальні (суцільні лінії) та теоретичні (пунктирні лінії) криві залежності  $h = f(L)$

Експериментальні та теоретичні криві майже збігаються. Абсолютна різниця між визначеними експериментально і теоретично товщинами шару стічної дощової води не перевищує 0,25 мм, що суттєво менше значення мікрошорсткості поверхні бетонного аеродромного покриття і цілком задовольняє вимоги точності практичних розрахунків. Підставляючи у формулу (5) значення  $h_{\text{кр}}$  з виразу (1) замість  $h$  та розв'язуючи отримане рівняння відносно  $L$ , знаходимо таку (критичну) довжину стікання  $L_{\text{кр}}$ , за якої на поверхні ТЗПС з ухилом  $i$  буде формуватися шар води товщиною, що не перевищує  $h_{\text{кр}}$ :

$$L_{\text{ед}} = \frac{2,61 \cdot 10^4 \Delta^{1,47} \sqrt{i}}{I(1 - \varphi_{i/a})^{0,835}}. \tag{6}$$

Ухил поверхні ТЗПС у напрямку стікання води  $i$  можна виразити через дві його складові – поперечний  $i_{\text{поп}}$  та поздовжній  $i_{\text{позд}}$  ухили:

$$i = \sqrt{i_{\text{поп}}^2 + i_{\text{позд}}^2}. \tag{7}$$

З урахуванням формули (7) вираз (6) набуває вигляду:

$$L_{\text{ед}} = \frac{2,61 \cdot 10^4 \Delta^{1,47} \left(i_{\text{поп}}^2 + i_{\text{позд}}^2\right)^{0,25}}{I(1 - \varphi_{i/a})^{0,835}}. \tag{8}$$

Визначимо довжину стікання  $L_b$  на двоххилій ТЗПС (рис. 2, а) у межах ширини зони  $b$  найбільш вірогідного проходження коліс літаків під час зльоту та посадки:

$$L_b = \frac{b \left(i_{\text{поп}}^2 + i_{\text{позд}}^2\right)}{2^3 i_{\text{поп}}}. \tag{9}$$

Числове значення мінімального поперечного ухилу двосхилої ТЗПС  $i_{\text{тп}}^{\text{min}}$ , при менших значеннях якого виникає небезпека динамічного гідроглісування коліс літака, можна знайти за умови рівності величин  $L_b$  та  $L_{\text{кр}}$  за формулами (8), (9). Розв'язуючи отримане рівняння відносно  $i_{\text{поп}}$  (при цьому беремо  $i_{\text{позд}} = i_{\text{тп}}^{\text{min}}$ ), отримаємо

$$i_{\text{тп}}^{\text{min}} = \sqrt{\frac{\dot{A} + \sqrt{\dot{A}^2 + 4\dot{A}^2 \dot{i}_{\text{тп}}^2}}{2}}, \quad (10)$$

де

$$\dot{A} = \frac{I^4 b^4 (1 - \varphi_{\text{в/а}})^{3,34}}{1,42 \cdot 10^{18} \Delta^{5,88}}.$$

В окремому випадку, якщо  $i_{\text{позд}} = 0$ , формула (10) набуває вигляду

$$i_{\text{тп}}^{\text{min}} = \frac{I^2 b^2 (1 - \varphi_{\text{в/а}})^{1,67}}{2,72 \cdot 10^9 \Delta^{2,94}}. \quad (11)$$

Аналогічно може бути визначено мінімальне значення поперечного ухилу односхилої ТЗПС (рис. 2, б).

Для односхилої ТЗПС залишається справедливою формула (10) з підстановкою в неї

$$A = \frac{I^4 (b + d)^4 (1 - \varphi_{\text{л/в}})^{3,34}}{4,64 \cdot 10^{17} \Delta^{5,88}}$$

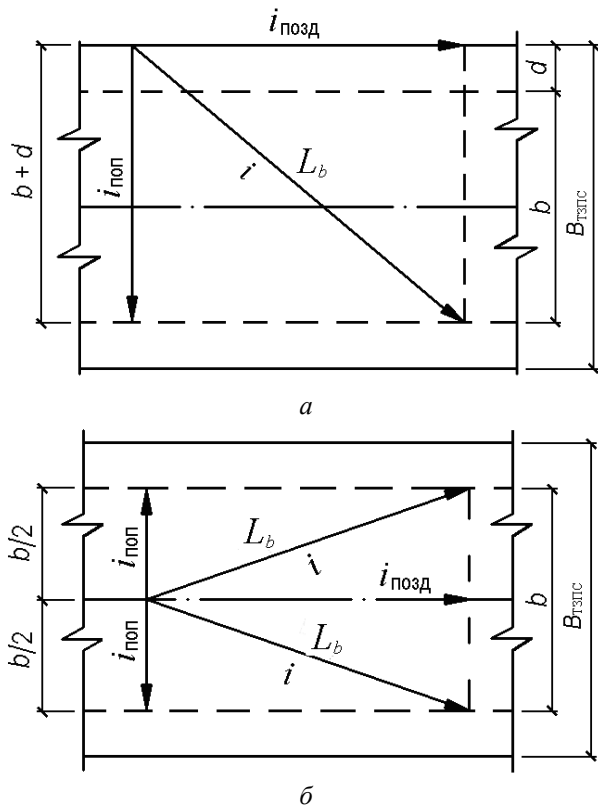


Рис. 2. Розрахункова схема визначення довжини стікання  $L_b$  на двосхилій (а) та односхилій (б) ТЗПС

та заміною виразу (11) формулою

$$i_{\text{тп}}^{\text{min}} = \frac{I^2 (b + d)^4 (1 - \varphi_{\text{л/в}})^{1,67}}{6,81 \cdot 10^8 \Delta^{2,94}}. \quad (12)$$

Для визначення мінімально допустимих поперечних ухилів ТЗПС, за умови запобігання динамічного гідроглісування коліс літаків за формулами (10), (12) на ПЕОМ були зроблені відповідні розрахунки.

Мінімальний поперечний ухил  $i_{\text{тп}}^{\text{min}}$  визначали для ТЗПС різних класів з урахуванням можливості експлуатації на них певних типів літаків:

- на ТЗПС класу А: Іл-96, Іл-62, А-340, В-747, DC-10, літаки, що експлуатуються на ТЗПС більш низьких класів;
- на ТЗПС класу Б: Іл-86, Іл-76, Ту-204, Ту-154, В-737, В-757, В-767, літаки, що експлуатуються на ТЗПС більш низьких класів;
- на ТЗПС класу В: Ту-134А, Іл-114, літаки, що експлуатуються на ТЗПС більш низьких класів;
- на ТЗПС класу Г: Ан-24, Ан-140, літаки, що експлуатуються на ТЗПС класу Д;
- на ТЗПС класу Д: Як-40, Іл-410.

Розрахункові випадки розглядали для посадки і зльоту певних літаків, двосхилого та односхилого поперечного профілів ТЗПС.

Розрахункові значення  $I$  були прийняті як інтенсивність дощу тривалістю 1 година з періодом повторюваності 10 р.

Мінімальний поперечний ухил  $i_{\text{тп}}^{\text{min}}$  визначали з урахуванням чотирьох зливових районів:  $I_1 = 0,29$  мм/хв,  $I_2 = 0,46$  мм/хв,  $I_3 = 0,54$  мм/хв,  $I_4 = 0,82$  мм/хв.

Мікросорсткість бетонної чи асфальтобетонної поверхні ТЗПС характеризується середньою висотою виступів  $\Delta = 2$  мм.

Числові значення  $i_{\text{тп}}^{\text{min}}$  розраховували при максимальному поздовжньому ухилі ТЗПС ( $i_{\text{тп}}^{\text{max}} = 0,0125$  для ТЗПС класів А – В та  $i_{\text{тп}}^{\text{max}} = 0,015$  – для ТЗПС класів Г, Д), що забезпечувало отримання найменших із можливих значень  $i_{\text{тп}}^{\text{min}}$ .

Порівнюючи отримані розрахункові дані, наведені у таблиці, із величинами нормативних мінімальних поперечних ухилів ТЗПС ( $i_{\text{тп}}^{\text{min}} = 0,005$ ) можна зробити висновок, що вказане нормативне значення  $i_{\text{тп}}^{\text{min}}$  практично не задовольняє умові запобігання динамічного гідроглісування коліс літаків. Виняток становлять ТЗПС класів Г та Д із двосхатними поперечними профілями у І зливовому районі, для яких величина  $i_{\text{тп}}^{\text{min}} = 0,005$  є придатною.

## Розрахункові значення мінімальних поперечних ухилів ТЗПС

Зливовий район	Інтенсивність дощу $I$ , мм/хв	Клас ТЗПС				
		А	Б	В	Г	Д
Двосхилі ТЗПС						
I	0,29	0,0077	0,0060	0,0060	0,0048	0,0044
II	0,46	0,0137	0,0102	0,0102	0,0080	0,0073
III	0,54	0,0172	0,0126	0,0126	0,0100	0,0087
IV	0,82	0,0341	0,0233	0,0233	0,0161	0,0145
Односхилі ТЗПС						
I	0,29	0,0239	0,0156	0,0148	0,0109	0,0095
II	0,46	0,0548	0,0328	0,0308	0,0201	0,0169
III	0,54	0,0746	0,0440	0,0411	0,0257	0,0214
IV	0,82	0,1702	0,0983	0,0915	0,0530	0,0427

Аналіз отриманих розрахункових даних показав, що при застосуванні в проектуванні поверхні ТЗПС існуючих нормативних значень поперечних ухилів динамічне гідроглісування коліс літаків у багатьох випадках не виключається: на двосхилих ТЗПС класу А у II, III та IV зливових районах; на ТЗПС класів Б, В у III та IV зливових районах; на ТЗПС класів Г, Д у IV зливовому районі; на односхилих ТЗПС – у всіх випадках за винятком ТЗПС класів В, Г і Д у I зливовому районі.

На підставі виконаних розрахунків можна рекомендувати використовувати при проектуванні поверхні як основний двосхилий симетричний поперечний профіль ТЗПС.

Односхилий поперечний профіль ТЗПС можна застосовувати лише при належному техніко-економічному обґрунтуванні.

Для запобігання динамічного гідроглісування літаків на односхилих ТЗПС у всіх зливових районах, а також на двосхилих у IV зливовому районі разом зі збільшенням допустимих значень поперечних ухилів необхідно вживати спеціальні заходи з підвищення шорсткості поверхні аеродромних покриттів

нарізка поперечних канавок, використання у верхньому шарі покриття крупних фракцій щебеню, створення пористих дренажних покриттів тощо.

**Висновок**

Результати виконаних досліджень свідчать про доцільність перегляду нормативних вимог щодо мінімально допустимих значень поперечних ухилів ТЗПС у бік їх збільшення.

**Література**

1. Часовников В.В. Характеристики глиссирования колес самолетов на мокрых ВПП, меры по устранению глиссирования // Летная эксплуатация воздушных судов и безопасность полетов в гражданской авиации. Организация летной работы и управление. Динамика полета в процессах летной эксплуатации. Эксплуатационная надежность: Тр. ОЛАГА. – Л., 1976. – Вып. 62. – С. 38–46.
2. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Т. 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов. – 4-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2004. – 351 с.

Стаття надійшла до редакції 12.12.05.

Предложена инженерная методика расчета минимально допустимых уклонов поверхности взлетно-посадочной полосы с твердым покрытием различных классов гражданских аэродромов для разных ливневых районов. Сформулированы рекомендации по проектированию поперечных профилей твердых покрытий взлетно-посадочной полосы и принятию специальных мер для предотвращения возникновения динамического гидроглиссирования колес самолета.

An engineering method is offered and calculations are executed on a ground minimum of possible paved runway's crossfalls for different classes of the civil airdromes and for the different rain shower zones. The recommendations for planning paved runway's cross direction profiles and taking special measures for prevention of airplane's wheels dynamic hydrogliding have been formulated.