

БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОРІГ

Закревський А.І., д-р техн. наук, Попелиш І.І., канд. техн. наук,
Корітчук С.О.

МЕТОДИ Й ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЗЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Анотація. Правильне прогнозування злітно-посадкової дистанції, здійснюване екіпажем повітряного судна на основі інформації про зчіпні якості поверхні покриття злітно-посадкової смуги (ЗПС), яке в цей час оцінюється по величині коефіцієнта зчеплення, є однією з головних умов забезпечення безпеки при зльоті або посадці повітряного судна. Розглянуті різні методи й засоби вимірювання коефіцієнта зчеплення, конструктивні особливості вимірювальних засобів, відзначені їхні достоїнства і недоліки.

Ключові слова. безпека польотів, зчіпні якості, коефіцієнт зчеплення, методи вимірювання, засоби вимірювання, деселерометр, гальмівний візок.

Аннотация. Правильное прогнозирование взлетно-посадочной дистанции, осуществляемое экипажем воздушного судна на основе информации о сцепных качествах поверхности покрытия взлетно-посадочной полосы (ВПП), которое в настоящее время оценивается по величине коэффициента сцепления, является одним из главных условий обеспечения безопасности при взлете или посадке воздушного судна. Рассмотрены различные методы и средства измерения коэффициента сцепления, конструктивные особенности измерительных средств, отмечены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова. безопасность полетов, сцепные качества, коэффициент сцепления, методы измерения, средства измерения, деселерометр, тормозная тележка.

Annotation. The Correct forecasting to run distance, realized by crew air ship on base of information on coupling quality of the surfaces of the covering the runway (VPP), which is at present valued in size factor of the traction, is one of the main of the conditions of the provision to safety under takeoff or boarding air ship. They Are

Considered different methods and facility of the measurement of the factor of the traction, constructive particularities of the measuring facilities, noted their value and defect.

Keywords. safety flight, coupling quality, factor of the traction, methods of the measurement, facility of the measurement, deselerometr, brake pushcart.

Вступ

Правильне прогнозування злітно-посадкової дистанції, яке здійснюється екіпажем повітряного судна (ПС) на основі інформації про стан поверхні аеродромного покриття, що оцінюється по величині коефіцієнта зчеплення пневматичного колеса з поверхнею злітно-посадкової смуги (ЗПС), є однією з головних умов убезпечення зльотів і посадок ПС. Як відомо, під коефіцієнтом зчеплення розуміють відношення поздовжньої сили опору руху ПС до нормальної сили реакції покриття, які діють на загальмоване колесо в зоні його контакту з поверхнею покриття.

Основна частина

У наш час зчіпні властивості аеродромних покриттів оцінюються наступними методами:

- визначення від'ємного прискорення автомобіля при гальмуванні;
- визначення абсолютного значення коефіцієнта зчеплення пневматичних коліс із поверхнею покриття.

Метод оцінки зчіпних властивостей аеродромних покриттів, який базується на вимірюванні від'ємного прискорення автомобіля при гальмуванні, що рухається із заданою швидкістю, знаходить застосування у ряді країн - членів ІСАО.

Вимірювання від'ємного прискорення при гальмуванні автомобіля проводиться за допомогою малогабаритних переносних приладів маятникового типу – деселерометрів, які відносяться до засобів дискретного вимірювання коефіцієнта зчеплення.

Для одержання в ході вимірювань достовірних даних автомобілі (легкові, вантажні, вантажопасажирські), на яких встановлюються деселерометри, повинні відповідати певним вимогам. Вони повинні мати звичайні серійні шини з невеликим (не більше 75%) рівномірним зносом протектора та тиском повітря в них згідно з технічним паспортом. Гальмівна система автомобіля повинна забезпечувати одночасне рівномірне гальмування всіх коліс.

Деселерометр повинен встановлюватись на автомобілях згідно з інструкцією виробника. Корпус деселерометра не повинен зміщуватись в будь-яку сторону в процесі руху автомобіля. Технічне і метрологічне обслуговування (калібровка) деселерометрів повинні проводитись згідно з інструкцією по експлуатації.

На сьогоднішній день аеродромними службами аеропортів різних країн застосовуються такі типи деселерометрів: гальмівний деселерометр Джеймса, брейкметр-динометр, тапліметр, деселерометр 1155М, деселерограф С-1-7.

Гальмівний деселерометр Джеймса складається з амортизуємого повітрям маятника, який з'єднано зі стрілкою, що показує від'ємне прискорення автомобіля при гальмуванні. Шкала деселерометра має градування з поділками (гальмівними індексами Джеймса) від 0 до 10 м/с, верхня межа якого рівна теоретичній максимальній здатності гальмування автомобіля на сухій, чистій поверхні покриття. Для оцінки зчпних властивостей покриттів гальмівний деселерометр Джеймса встановлюється на підлозі кабіни автомобіля й нівелюється (за рівнем). Вимірювання проводяться, як і іншими марками деселерометрів, на відстані 3-10 м від осі ЗПС, за методикою, рекомендованою ІСАО. Автомобіль розганяється до необхідної швидкості, а потім гальмується протягом 1с до повного блокування всіх чотирьох коліс. При гальмуванні деселерометр, що має низький центр ваги, залишається нерухомим, а його маятник відхиляється разом з фіксуєчою стрілкою в напрямку руху. Показання на шкалі зчитуються, після чого фіксуєча стрілка повертається на нульову поділку.

Брейкметр-динометр являє собою точно збалансований маятник, який за допомогою зубчатої секторної передачі обертає стрілку кругової шкали. Кругова шкала градується у відсотках. Для зменшення впливу вібрацій, прилад заповнений нечутливою до змін температури рідиною. Він встановлюється на спеціальну підставку, закріплену на полу автомобіля. Вимірювання проводяться згідно з інструкцією по експлуатації.

Тапліметр (ТАР) складається з демпфуюємого маслом маятника, поміщеного в герметичний кожух. Маятник з індикатором за допомогою магнітних сил пов'язаний з легким передавальним механізмом, до якого прикріплена кругла шкала, яка відградуєвана у відсотках від'ємного прискорення автомобіля при гальмуванні. Спеціальний механізм фіксує індикатор у положенні максимального відхилення маятника. Показання шкали

зчитуються через отвори у верхній площині. Увесь тапліметр змонтований на литій платформі за допомогою вилючної конструкції. Прилад встановлюється в автомобілі на стійкій горизонтальній поверхні (на дні кабіни біля основи сидіння), що виключає його зсув під час вимірів.

Деселерометр 1155М являє собою переносний малогабаритний прилад, що закріплюється за допомогою присосів на лобовому склі автомобіля так, щоб вісь маятника розташовувалася горизонтально, а площина коливання маятника була в площині руху автомобіля. За допомогою гвинтів фіксації деселерометр устанавлюється в положення, при якому вертикальна осьова площина маятника проходить через контрольну риску, нанесену на прозору частину стінки корпусу. Детальна методика вимірювання коефіцієнта зчеплення приведена в технічному паспорті приладу.

Деселерограф С-1-7 відноситься до найбільш досконалих типів деселерометрів. Його конструктивна особливість полягає в тому, що він має механізм годинникового типу, що обертає диск із папером, на який проводиться запис вимірюваних значень від'ємного прискорення автомобіля при гальмуванні. Документальна реєстрація результатів виміру (на стрічці) - основна перевага деселерографа С-1-7.

На сьогоднішній день в аеропортах деяких країн використовуються більш сучасні електронні деселерометри, принцип дії яких аналогічний механічним деселерометрам. Вони дозволяють одержувати документальну реєстрацію результатів вимірювання.

Метод оцінки умов гальмування на ЗПС шляхом визначення деселерометром від'ємних прискорень при гальмуванні автомобіля має такі недоліки, як невисока точність і достовірність одержуваних результатів. Це пояснюється недостатньою точністю самих приладів, а також залежністю результатів вимірювань від технічного стану автомобіля (регулювання гальмівної системи, ступінь зношування протекторів, тиск повітря в шинах), інтенсивності натискання водієм на гальмівну педаль. За допомогою деселерометрів одержують дискретні (точкові) значення коефіцієнта зчеплення, а не безперервні, як рекомендує ІСАО. Деселерометри рекомендовано використовувати, здебільшого, на покриттях, які знаходяться під ущільненим снігом або льодом, та не рекомендовано на мокрих і покритих пухким чи сухим снігом, сльотою покриттях. У зв'язку з цим деселерометри застосовуються

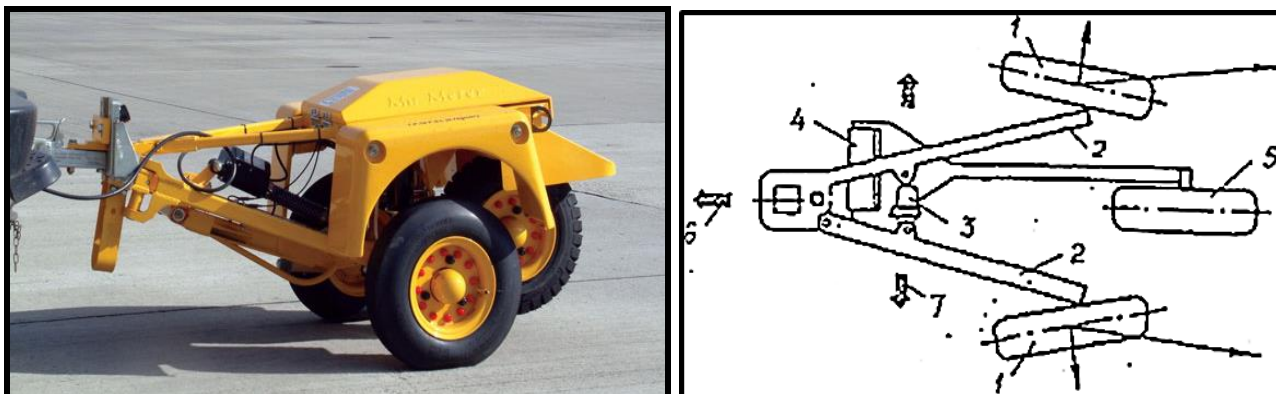
тільки при відсутності більш досконалих технічних засобів оцінки умов гальмування на ЗПС.

Метод оцінки зчіпних властивостей аеродромних покриттів за допомогою визначення абсолютного значення коефіцієнта зчеплення коліс літака з поверхнею покриття, є найпоширенішим у світовій практиці експлуатації аеродромів. Метод заснований на вимірюванні поздовжнього тягового зусилля в зоні контакту колеса, що гальмується, з покриттям, при відомому значенні вертикального навантаження на колесо й заданому відсотку його проковзування. Цих даних досить для встановлення фактичного значення коефіцієнта зчеплення.

Існуючі різні пристрої для виміру коефіцієнта зчеплення діляться по режиму гальмування вимірювального колеса на два типи. До першого з них відносяться пристрої для вимірювання поздовжнього тягового зусилля при 100% - ному проковзуванні колеса (тобто при юзі), до другого – пристрої для виміру поздовжнього тягового зусилля при проковзуванні колеса в межах від 10 до 20%. Пристрої першого типу широко застосовуються для оцінки умов гальмування на автомобільних дорогах. Вони виконані у вигляді автомобільних причепів і призначені для вимірювання тільки коефіцієнта зчеплення-ковзання. Оскільки одержувані з їхньою допомогою коефіцієнти зчеплення нижче граничних (максимально можливих) значень, то пристрої першого типу не застосовуються для оцінки умов гальмування на ЗПС. Пристрої другого типу є найбільш досконалими з існуючих засобів оцінки зчіпних властивостей аеродромних покриттів, тому що дозволяють проводити вимірювання в умовах, близьких по характеру взаємодії коліс із покриттям до умов руху літака по ЗПС при гальмуванні. Залежно від принципу дії пристрої другого типу призначені для вимірювання коефіцієнта бічного зчеплення або ж коефіцієнта поздовжнього зчеплення. Для вимірювання коефіцієнта бічного зчеплення коліс літака з поверхнею ЗПС використовується мю-метр (Англія).

Мю- метр (рис.1) являє собою триколісний причіп (масою 245 кг) до легкового автомобіля. У транспортному положенні бічні (вимірювальні) колеса, що мають гладкі пневматики, розташовані паралельно, а заднє колесо підняте. Перед початком вимірювань бічні колеса встановлюються в розбіжне положення (під кутом 15^0 до напрямку руху), заднє колесо опускається. Під час вимірювання коефіцієнта зчеплення бічні колеса прагнуть роз'їхатися й

стримуються силовим вимірювальним датчиком, показання якого передаються на реєструючий пристрій, який встановлений на рамі мю-метра.



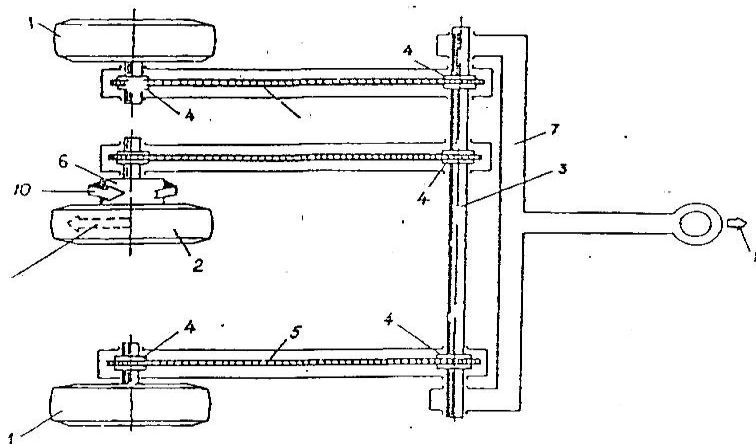
1 - вимірювальні колеса; 2 - кронштейни вимірювальних коліс; 3 - силовий гідравлічний датчик; 4 - реєструючий пристрій; 5 - колесо для приведення в рух стрічкопротягувального механізму реєструючого пристрою; 6 - сила тяги автомобіля; 7 - результуюча сила на вимірювальному датчику

Рисунок 1 - Мю-метр і його принципова конструктивна схема

Номінальна робоча швидкість мю-метра при вимірюванні коефіцієнта бічного зчеплення приймається рівною 65 км/год. У практиці експлуатації аеродромів вимірювані мю-метром значення коефіцієнта бічного зчеплення найчастіше приймають за коефіцієнт поздовжнього зчеплення, що не зовсім вірно, тому що коефіцієнти бічного й поздовжнього зчеплення коліс із покриттями суттєво різняться по величині. У зв'язку із цим мю-метр можна використовувати тільки для оцінки якісного стану поверхні покриття, а не для вимірювання кількісних значень коефіцієнта зчеплення.

В аеропортах всього світу аеродромні служби використовують вимірювачі коефіцієнта зчеплення, які найбільш повно відповідають вимогам ІСАО до засобів оцінки зчепних властивостей аеродромних покриттів (безперервне вимірювання поздовжнього коефіцієнта зчеплення з відносним проковзуванням коліс $15 \pm 2\%$ на швидкості 50-65 км/год.). До них відносяться такі технічні засоби: скидометр BV-11, різні модифікації вимірювальних засобів скандинавської (Швеція) компанії ASFT (раніше SFT), АТТ-2, АТТ-2М, АТ-ЭМ, ИКС-1.

Скидометр BV – 11 (рис. 2) являє собою автомобільний причіп масою 360 кг. Він має три колеса однакового діаметра, встановлених на одній осі й з'єднаних з рамою причепа незалежною системою підвіски й амортизації. Бічні колеса причепа є ведучими, середнє - вимірювальним. За допомогою ланцюгових передач усі колеса пов'язані з розміщеним у передній частині рами жорстким валом. Зірочки ведучих коліс жорстко з'єднані з їхніми ступицями, а зірочка вимірювального колеса - через спеціальний вимірювальний пристрій з аксіальним датчиком. При пересуванні скидометра, внаслідок різної кількості зубів на зірочках вимірювального й ведучих коліс, на ступиці вимірювального колеса виникає гальмівний момент і його рух відбувається із проковзуванням, що складає приблизно 15-17%. Дані про гальмівне зусилля, що діє на аксіальний датчик вимірювального пристрою, передаються на пульт реєстрації, встановлений у кабіні легкового автомобіля-буксирувальника. Пристрій пульта реєстрації дозволяє вести безперервний запис на паперовій стрічці реєструючого пристрою поточних дискретних і середніх по ділянках ЗПС значень коефіцієнта зчеплення. Буксирування скидометра BV-11 при вимірюванні коефіцієнта зчеплення здійснюється зі швидкістю 65 км/год. При необхідності вимірювання можуть проводитися на швидкості до 150 км/год.



1 - опорні колеса; 2 - вимірювальне колесо; 3 - жорсткий вал; 4 - зірочки; 5 - ланцюгові передачі; 6 - аксіальний датчик гальмівного крутного моменту; 7 - рама причепа; 8 - сила тяги автомобіля; 9 - поздовжня сила зчеплення; 10 - гальмівний крутний момент

Рисунок 2 - Принципова конструктивна схема скидометра BV-11

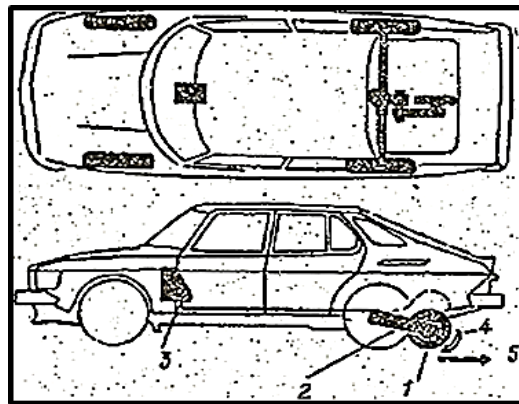


Рисунок 3 - Причіп скидометра BV-11 і обчислювач МІ -90 для причіпного скидометра BV-11

Принцип вимірювання коефіцієнта зчеплення, який використовується у скидометрі BV-11 закладений і у вимірювальних засобах компанії ASFT. Вони виготовляються двох типів-у вигляді навісного обладнання до автомобіля і у вигляді автономного причепа.

Робочим органом вимірювального пристрою легкового автомобіля ASFT (Airport Surface Friktion Tester), обладнаного комп'ютерною системою, є п'яте колесо, яке розташоване під багажником автомобіля, підняте в транспортному положенні й опущене на поверхню покриття при вимірюванні коефіцієнта зчеплення. Шасі автомобіля має ведучий передній міст, а задні колеса обертаються вільно. Вимірювальне колесо з'єднане ланцюговою передачею із задніми колесами автомобіля. При вимірюванні коефіцієнта зчеплення вимірювальне колесо рухається із проковзуванням, рівним 13%, яке обумовлено різними діаметрами вимірювального й задніх коліс автомобіля. Вимірювальний пристрій ASFT обладнано датчиками, що забезпечують вимір крутного моменту, вертикального навантаження на колесо й поздовжньої сили гальмування. Інформація про сили, що діють на вимірювальне колесо, і пройдену відстань надходить у цифровий обчислювальний пристрій, який розташований на передній панелі автомобіля. Ця інформація обробляється, записується графічно на стрічці реєструючого пристрою, друкується у вигляді поточних, середніх по ділянках ЗПС і по всій ЗПС значень коефіцієнта зчеплення. Для визначення швидкості початку глісування коліс, що реєструється на пульті цифрового обчислювального пристрою, ASFT додатково обладнано системою подачі води (шаром 0,5-1,0 мм) під

вимірювальне колесо. Швидкісні якості автомобіля ASFT дозволяють проводити оцінку зчіпних властивостей аеродромних покриттів на швидкостях до 160 км/год, що близько до умов руху коліс літака по ЗПС при гальмуванні.



1 - вимірювальне колесо; 2 - ланцюгова передача; 3 - цифровий обчислювальний пристрій; 4 - гальмовий крутний момент; 5 - поздовжня сила зчеплення

Рисунок 4 - Автомобіль ASFT з навісним обладнанням і його принципова конструктивна схема

ASFT T-5 – причіпний візок для безперервного вимірювання коефіцієнта зчеплення, що використовується на всіх типах покриттів ЗПС. Має оцинковану металеву раму і пластиковий корпус для запобігання корозії у зв'язку з використанням хімреагентів на ЗПС.

Всі дані про проведені вимірювання виводяться на дисплей комп'ютерного моноблока, який знаходиться в автомобілі в зручному для експлуатанта місці. Вимірювач не потребує будь якого дротового з'єднання, так як передача даних здійснюється за допомогою Bluetooth.

Унікальність системи полягає в тому, що вимірювальне колесо не прикріплене до кузова чи шасі. Воно з'єднане тільки з віссю причепа за допомогою пружин, що дозволяє уникнути впливу на колесо коливань причепа, до якого воно прикріплене.

ASFT T-10 являє собою модифіковану версію обладнання компанії ASFT. Причіпний візок має відносно невелику масу, тому для забезпечення потрібного навантаження на вимірювальне колесо в причіп додаються спеціально підібрані додаткові вантажі, які забезпечують його гарну стійкість і маневреність, а також надійність результатів виміру. Комп'ютерна система T-

10 складається з вимірювального процесора й головного комп'ютера із принтером і панеллю оператора. Комп'ютер запрограмований для проведення вимірів і надання даних відповідно до міжнародних норм і стандартів. Вимірювальний процесор одержує аналогові сигнали датчиків і генератора імпульсів (для виміру швидкості), перетворює їх у цифрові сигнали й передає на головний комп'ютер. Коли вимірювальне колесо ковзає по поверхні ЗПС, сила тертя створює крутний момент, який передається на ланцюгову систему трансмісії і потім вимірюється датчиком навантаження. Датчик навантаження відслідковує наявність тиску, створюваного гідравлічною системою (вектор спрямований вертикально вниз), і призначений стежити за тим, щоб під час вимірів зберігався тиск, необхідний для забезпечення абсолютного контакту вимірювального колеса з поверхнею покриття. Система Т-10 забезпечує постійний тиск у механізмі опускання й прибирання вимірювального колеса, а також створює вертикальне навантаження на вимірювальне колесо. На вимірювальному колесі встановлені спеціальні шини високого тиску для вимірювання поверхневого тертя, які мають практично такі ж характеристики при гальмуванні, що й пневматики коліс літакових шасі. При калібруванні системи можуть бути використані шини низького тиску. Коефіцієнт ковзання вимірювального колеса приблизно 12%, він залежить від ступеня зношування шини вимірювального колеса і її типу.

Аеродромний гальмівний візок АТТ-2 - найбільш розповсюджений в наш час в аеропортах цивільної авіації держав СНД. Він являє собою одноосьовий, двоколісний причіпний агрегат, що складається з рами, двох коліс різного діаметра, карданного вала , що з'єднує колеса за допомогою зубчастої муфти, центрального й бічного диска і вимірювального датчика. Принцип роботи заснований на вимірюванні поздовжньої сили зчеплення, що виникає під вимірювальним колесом в процесі руху його по поверхні ЗПС з проковзуванням (за рахунок різного діаметра коліс) $15 \pm 2\%$. Зусилля, що виникають під вимірювальним колесом, через вимірювальний датчик і гнучкий електричний кабель передаються на переносний блок апаратури візуальної реєстрації (АВР), який знаходиться в кабіні автомобіля-буксирувальника. АТТ-2 можуть бути оснащені також блоками документальної реєстрації.

Методика вимірювання коефіцієнта зчеплення приведена в технічному паспорті АТТ-2. Аеродромний гальмівний візок АТТ-2М (рис.5) прототипом якого є АТТ-2, являє собою одноосьовий двоколісний причіп, що складається з

рами, установленної на амортизаторах і пружинах для гасіння динамічних коливань при русі, центральної і бічної тяг дишла, карданного вала, блокувальної муфти з вимірювальним паралелограмом, захисного кожуха, зчіпного пристрою, важеля включення блокувальної муфти, кришки вимірювального відсіку, кришки оглядового люка, страхувального троса.

Вимірювальний паралелограм обладнаний силовимірювальним датчиком. Навантаження, що діє на датчик, змінює живлячу напругу і передається через гнучкий електричний кабель у блок реєстрації, який перед початком вимірів розміщується в кабіні автомобіля-буксирувальника. Наявність амортизаторів дозволяє проводити вимірювання на швидкості 65 ± 5 км/год, скорочує час вимірювань й підвищує оперативність прийняття рішень про стан ЗПС. Маса візка АТТ-2М - 350 ± 5 кг.

Аеродромний гальмівний візок АТТ-2М забезпечує документальну реєстрацію коефіцієнта зчеплення на паперовому й електронному носіях, обчислення його середніх значень по третилах ЗПС і по всій ЗПС, визначення швидкості, при якій проводилися вимірювання і пройденої при цьому відстані.



Рисунок 5 - Аеродромний гальмівний візок АТТ-2М

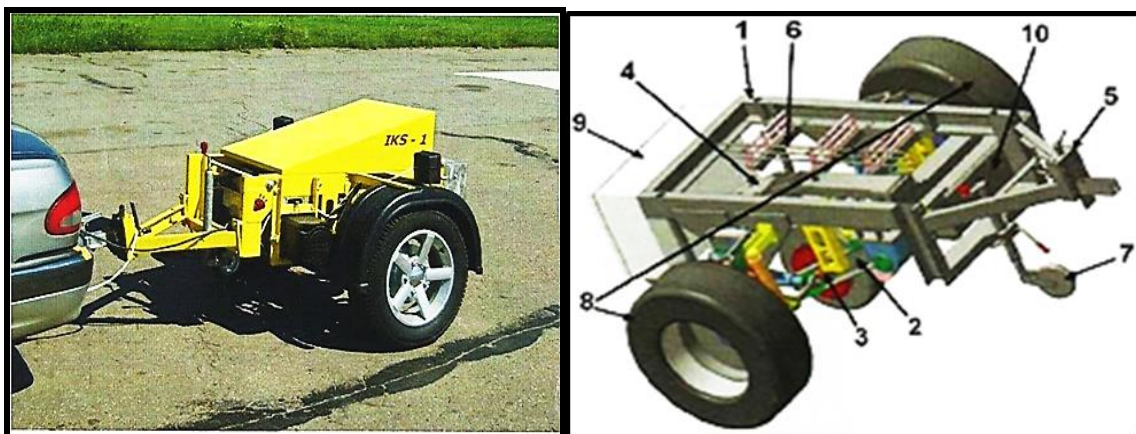
Особливістю аеродромного візка електромеханічного АТ-ЕМ (рис. 6) є наявність двох вимірювальних коліс (у відмінність, наприклад, від візків АТТ-2 і АТТ-2М або причіпного пристрою ASFT моделей Т-5,Т-10). Принцип дії АТ-ЕМ полягає у вимірюванні сили тертя кожного із двох вимірювальних коліс по поверхні ЗПС, обчисленні коефіцієнта зчеплення при незалежній підтримці заданого значення ковзання вимірювальних коліс. Принцип роботи АТ-ЕМ дозволяє імітувати режим гальмування авіашасі будь-якого типу ПС.



Рисунок 6 - Аеродромний гальмівний візок АТ-ЕМ

Конструктивно АТ-ЕМ складається із причіпного пристрою (вимірювача зчіпних властивостей) у вигляді двокілісного шасі, що буксирується автомобілем по ЗПС, блоку вимірювання і обробки значень коефіцієнта зчеплення, розташованого в кабіні автомобіля- буксирувальника, а також робочого місця оператора на командно-диспетчерському пункті аеродрому, куди оперативно (по радіоканалу) передаються результати вимірювання коефіцієнта зчеплення.

Вимірювач коефіцієнта зчеплення ИКС-1 (рис.7).



1 - несна рама; 2 - важіль вимірювального колеса; 3 - зчитувальний вузол вимірювального колеса; 4 - балка з вантажем; 5 - причіпний пристрій; 6 - навантажувальний реостат; 7 - допоміжне (паркувальне) колесо; 8 - несні колеса; 9 -електрошафа управління; 10 -гальмівний генератор

Рисунок 7 - Вимірювач коефіцієнта зчеплення ИКС-1

До комплексу входять причіпний електромеханічний візок, пульт управління і індикації. Візок має два несних колеса, спеціальне вимірювальне колесо і опорне колесо. На вимірювальному і несних колесах встановлено по одному індуктивному датчику кутової швидкості. До складу візка входять також електрошафа управління й гальмівний електрогенератор. Пристрій дозволяє проводити вимірювання із установленим значенням проковзування (10 ± 1)%. Швидкість руху в режимі вимірювання становить 65 ± 5 км/год. Загальна споряджена маса візка не перевищує 500 кг.

Висновки

1. Важливою умовою убезпечення злітно-посадкових операцій ПС є надання екіпажам об'єктивної інформації про стан аеродромних покриттів і, перш за все, інформації про зчіпні якості ЗПС.
2. Зчіпні якості поверхні ЗПС оцінюються коефіцієнтом зчеплення.
3. Для достовірності інформації про коефіцієнт зчеплення важливо, щоб вимірювання проводились відповідним обладнанням - технічно справним і метрологічно атестованим.
4. Найбільш достовірним з відомих методів вимірювання є метод визначення абсолютного значення коефіцієнта зчеплення з поверхнею покриття ЗПС.
5. Вимірювання рекомендується проводити технічними засобами, які відповідають вимогам ІСАО і мають необхідні сертифікаційні документи.

Література

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

Рецензенти

Мішутін А.В., д-р техн. наук, ОДАБА (Одеса)
Кіяшко І.В., канд. техн. наук, ХНАДУ (Харків)

Reviewers

Mishutin A.V., Dr.Tech.Sci., OSACEA (Odesa)
Kiiashko I.V., Ph.D., KhNAHU (Kharkiv)