

Концептуальная модель самоходной измерительной лаборатории контроля состояния аэродромных покрытий

А. А. Кузнецов¹, В. Н. Шелудько², Т. Л. Русяева³, М. М. Копычев⁴, Я. Н. Сколяров⁵

Санкт-Петербургский государственный электротехнический

университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹smith_spb@mail.ru, ²vnscheludko@etu.ru, ³tanya_rusyaeva@mail.ru, ⁴mkopichev@gmail.com, ⁵vvputov@mail.ru,

Аннотация. Обеспечение безопасной посадки воздушных судов является приоритетным направлением при работе аэродромной службы аэропорта. Получение достоверных сведений о состоянии искусственного покрытия взлетно-посадочной полосы и метеоусловий необходимо при принятии решения о безопасности посадки самолета в сложных условиях. В статье рассматриваются вопросы создания самоходной измерительной лаборатории для контроля безопасности посадки воздушного судна на базе буксируемого электромеханического измерителя коэффициента сцепления ИКСЭМ.

Ключевые слова: измерительная лаборатория; воздушное судно; автономное управление; коэффициент сцепления; навигация

I. ВВЕДЕНИЕ

Проблемы безопасности посадки воздушных судов (ВС) и наземных транспортных средств, тормозящих колесами, формировались и возрастали одновременно с развитием транспорта и пассажирской авиации, ростом численности и совершенствования автодорог и аэродромов, имеющих взлетно-посадочные полосы (ВПП) с искусственным твердым покрытием, вытесняющие грунтовые ВПП [1].

Международная организация гражданской авиации (ICAO – International Civil Aviation Organization) содействует безопасному и упорядоченному развитию международной гражданской авиации во всем мире. Она устанавливает стандарты и правила, необходимые, помимо прочего, и для безопасности полетов. В связи с этим с середины 1950-х годов ICAO способствовала проведению обсуждений по вопросам сцепления, учреждению исследовательских групп и поощрению исследовательских программ.

Согласно циркуляру ICAO 329-AN/191 (пп. 8.5 – 8.7) [2] не существует общего понимания определений и процессов, касающихся сообщений о состоянии ВПП. Предлагается рассмотреть возможность объединения в новом едином формате результаты следующих инициатив: ICAO SNOWTAM; ICAO NOTAM; Индекс CRFI; Проект TALPA/ARC.

Извещения NOTAM (NOTice To AirMan) – это оперативно распространяемая информация об изменениях в правилах проведения и обеспечения полётов и аэронавигационной информации [3]. Серия С извещений NOTAM в России и странах СНГ называется SNOWTAM, и содержит информацию о снеге, слякоти, льде или стоячей воде на ВПП аэродромов [4]. Индекс CRFI (Canadian Runway Friction Index) показывает корреляцию между тормозным путем ВС и состоянием полосы. TALPA (Takeoff and Landing Performance Assessment) обеспечивает безопасность взлета и посадки ВС, исходя из расчёта тормозного пути на влажном или загрязненном искусственном покрытии ВПП [2].

А. Параметры и требования к состоянию летного поля

Параметры состояния летного поля, подлежащие обязательному измерению и учету [5]:

- a) на ВПП и концевых полосах торможения:
 - коэффициент сцепления;
 - наличие, вид и толщина атмосферных осадков;
 - состояние и качество очистки поверхности;
 - состояние и видимость дневных и переносных маркировочных знаков;
- b) на спланированной части летного поля (ЛП):
 - размеры очищенной от снега ЛП;
 - величина уклона сопряжения очищенной части ЛП с целинным снегом;
 - плотность грунта и ровность поверхности;
- c) на рулежных дорожках (РД), местах стоянок и перронах:
 - наличие, вид и толщина атмосферных осадков;
 - состояние и видимость маркировочных знаков;

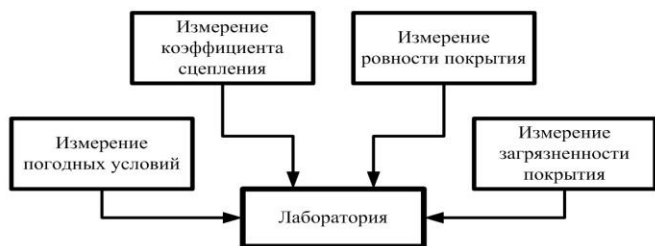


Рис. 1. Функциональная схема измерительной лаборатории

д) на грунтовых аэродромах (вертодромах):

- состояние поверхности и качество дернового покрова;
- глубина промерзания;
- прочность (плотность) грунта (уплотненного снега);
- ровность поверхности грунтового (заснеженного) аэродрома (вертодрома);
- состояние и видимость переносных маркировочных знаков;
- величина уклона сопряжения рабочей части грунтовой ВПП со спланированной частью ЛП.

Функциональная схема измерительной лаборатории приведена на рис. 1.

При выполнении работ по содержанию летного поля в летний период необходимо обеспечить эксплуатационные качества аэродромных покрытий: ровность; фрикционные свойства; чистоту поверхности; сохранность проектных геометрических форм и размеров.

Содержание летного поля аэродрома в зимний период представляет собой комплекс мероприятий и работ, направленных на подготовку летного поля к полетам. К ним относят [5]:

- очистку искусственных покрытий, гоночных площадок, заземляющих устройств, «огней» (светильников) очищаемых зон ЛП, участков курсовых и глиссадных радиомаяков от снега, слякоти;
- предупреждение и удаление гололедных и снежно-ледяных образований;
- уплотнение снега до требуемой толщины 6–8 см с последующей очисткой поверхности от выпавших осадков, если принят и используется метод очистки на аэродроме;
- выравнивание и уплотнение снежных отложений, если применяется метод уплотнения;
- устранение колеевости и выбоин на заснеженных летных полях аэродромов;
- выравнивание снежных отложений и валов за пределами ВПП, обочин РД, МС и перронов с планировкой откосов;
- проведение снегозадержания на летных полях;
- вывоз скоплений снега в места выкладок снега;
- борьба с зимней скользкостью на внутри-аэропортовых дорогах, подъездных путях и привокзальных площадях.

Одной из причин аварийности при взлете и посадке является льдообразование на аэродромных покрытиях. Согласно РЭГА РФ [5] установлены следующие интервалы значений параметров покрытия и приземного слоя воздуха, при которых происходит льдообразование:

- температура воздуха от 1 до минус 5 °С;
- относительная влажность воздуха от 86 до 98 %;
- дефицит точки росы от 0 до минус 7 °С;

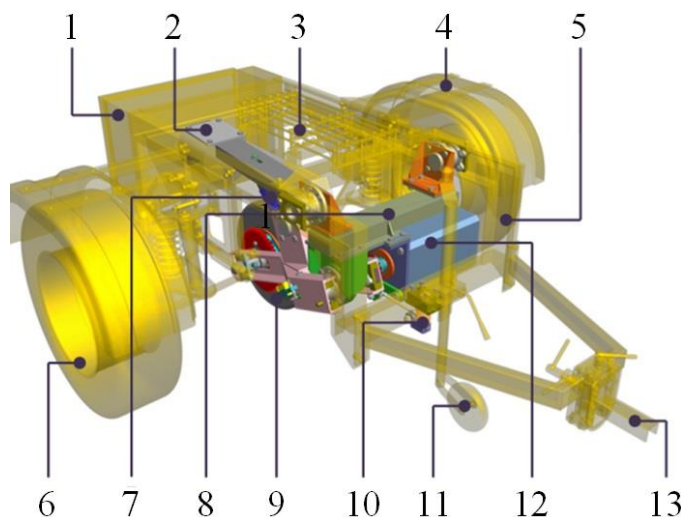


Рис. 2. Модель буксируемого измерителя коэффициента сцепления ИКСЭМ

- разность температур воздуха на поверхности покрытия от 2 до 4 °С;
- разность температур поверхности покрытия и точки росы от 0 до минус 2 °С.

II. САМОХОДНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

А. Фиксация погодных условий

Для фиксации погодных условий в измерительной лаборатории используется метеостанция Vaisala WXT520, позволяющая производить измерения атмосферного давления, влажности, атмосферных осадков, температуры окружающего воздуха и скорости и направления ветра. Метеостанция поддерживает протоколы обмена информацией RS-232/RS-485.

В. Измерение коэффициента сцепления

Для измерения коэффициента сцепления в измерительной лаборатории используется специальная установка, предназначенная для оценки условий торможения воздушного судна на искусственных покрытиях ВПП, РД и перронов аэродромов. Установка имеет в своей конструкции измерительное колесо (ИК) и обеспечивает измерение коэффициента продольного сцепления шины, равного отношению продольной касательной силы к нормальной силе, действующих в

«пятне» контакта с покрытием при движении ИК с проскальзыванием (скольжением) в диапазоне от 10% до 20% [6].

Измеритель коэффициента сцепления представляет собой конструкцию, объединенную рамой и передней подвеской автомобиля ВАЗ 21213 «НИВА» и имеющую сцепку для крепления к фаркопу автомобиля-буксировщика. Разработанный измеритель представлен на рис. 2, рис. 3 [6].

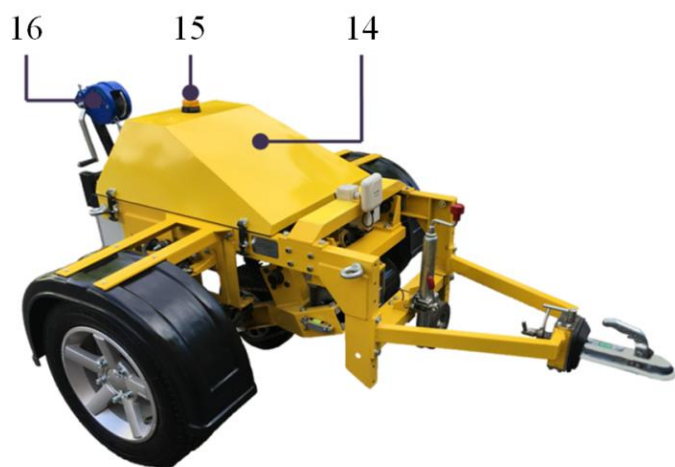


Рис. 3. Буксируемый измеритель коэффициента сцепления ИКСЭМ

На рис. 2 обозначены: 1. электрошкаф управления; 2. балка с грузом и рычагом; 3. нагрузочное сопротивление; 4. узел крепления крыла; 5. рама; 6. несущие колёса; 7. амортизатор; 8. балка; 9. подвеска с ИК; 10. узел крепления тензодатчика; 11. стойка с опорным колесом; 12. тормозной генератор; 13. сцепка.

На рис. 3 обозначены: 14. кожух; 15. проблесковый маяк; 16. лебедка.

При оценке технического состояния элементов летных полей аэродромов (вертодромов) следует обращать особое внимание на их прочность (несущую способность), ровность и другие физические характеристики, связанные, в первую очередь, с работоспособностью искусственных покрытий и состоянием грунтовой части летного поля и других сооружений. Оценка характеристик летного поля рекомендуется производить инструментальными методами.

С. Измерение ровности поверхности искусственных покрытий аэродрома

Состояние ровности поверхности аэродромных покрытий рекомендуется характеризовать индексом R [5]. Ровность поверхности искусственных покрытий следует оценивать при окончании их строительства для приемки в эксплуатацию, после реконструкции и ремонта. Оценка ровности рекомендуется выполнять методом короткошагового нивелирования или путем использования специального прицепного устройства для измерения ровности.

Искусственные покрытия аэродромов не должны допускаться к эксплуатации, если индекс ровности R равен или ниже 2,0; он вычисляется по формуле

$$R = 6.48 - \frac{4.62C}{0.21^{k-2}}$$

где C и k – коэффициенты, характеризующие соответственно уровень и форму спектральной плотности неровностей [5].

Измерение ровности предполагается осуществлять лазерным датчиком уровня.

Д. Измерение загрязненности поверхности ВПП

Поверхность ВПП может быть сухой, мокрой или загрязненной [5]:

а) Загрязненная ВПП. ВПП считается загрязненной, когда более 25% площади поверхности ВПП (независимо от того, являются ли эти участки изолированными или сплошными) в пределах предусмотренной для использования длины и ширины покрыто:

- слоем воды или слякоти толщиной более 3 мм (0,125 дюйма);
- слоем рыхлого снега толщиной более 20 мм (0,75 дюйма);
- слоем уплотненного снега или льда, включая мокрый лед.

б) Сухой ВПП является та, на которой в пределах предусмотренной для использования длины и ширины отсутствуют загрязнители или заметные следы влаги.

в) Мокрой называется ВПП, которая не является ни сухой, ни загрязненной.

Загрязненность искусственного покрытия ВПП предлагается проверять оптическим датчиком отражения.

Е. Определение местоположения

В рамках данной задачи можно предложить три варианта передвижения самоходной измерительной лаборатории по аэродрому:

1. Самостоятельное передвижение от места стоянки до ВПП и обратно;
2. Буксировка автомобилем к ВПП. Самостоятельное измерение КС искусственных покрытий ВПП;
3. Дистанционное управление с передачей видеопотока с камеры, установленной на измерительной лаборатории в режиме реального времени.

Рассмотрим первый вариант. В качестве основного источника данных о местоположении предлагается использовать навигационный модуль с возможностью принимать и обрабатывать поправки RTK (Real Time Kinematic), разработанный АО «КБ НАВИС» [7].

Данный метод работает путем размещения навигационного приемника, который является базовой станцией (БС) в известном местоположении. БС измеряет расстояние до каждого спутника. Затем она использует измеренные расстояния и рассчитывает фактическое расстояние, используя свою известную позицию. Измеренные расстояния могут содержать ошибки, такие как ошибки в данных эфемерид или внутренних шумов приемника. Разница между измеренным и вычисленным расстоянием затем передается навигационным приемникам пользователей через различные каналы связи.

В основе технологии RTK лежит дифференциальный метод, основанный на дополнении кодовых поправок фазовыми (псевдодальностями и фазовыми измерениями) [8]. Корректирующая информация передается навигационным приемникам через различные каналы связи. Применение RTK позволяет решать задачу определения координат в субсантиметровом диапазоне. Например, данные поправки используют на сельскохозяйственной технике при уборке урожая, посеве и пр., позволяя осуществлять данные операции с высокой точностью, тем самым экономя топливо, семена и другие расходные материалы. Однако стоимость существующих решений для этой отрасли составляет несколько сот тысяч рублей и выше.

В данном случае предполагается размещение базовой станции на территории аэропорта с возможностью передачи RTK поправок по радио или GSM/GPRS каналу на самоходную измерительную лабораторию. В качестве базовой станции предполагается использовать навигационный модуль, предложенный выше, который может работать в режиме базовой станции.

Г. Обнаружение препятствий

Обнаружение препятствий на пути движения самоходной измерительной лаборатории предлагается осуществлять с помощью стереокамеры, которая способна измерять расстояния до объекта и строить карту глубины. Достоинством данного подхода является минимальные затраты на приобретение камер, наличие доступных мощных компьютеров для вычисления. Недостаток заключается в зависимости качества обнаружения препятствий от уровня освещенности.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерительная лаборатория является устройством для контроля состояния полосы и используется аэродромной службой аэропорта. Лаборатория построена на базе электромеханического измерителя коэффициента сцепления нового поколения ИКСЭМ и способна самостоятельно передвигаться по территории аэродрома [6].

Для измерения погодных условий установка оснащается метеостанцией, для измерения коэффициента сцепления – измерительной подвеской с измерительным колесом, осуществляющим торможение с переменным скольжением, для измерения ровности – лазерным датчиком уровня, а для измерения загрязненности полосы – оптическим датчиком отражения.

Определение местоположения осуществляется навигационным модулем с интегрированными акселерометром и гироскопом, способным получать и обрабатывать поправки RTK, а обнаружение препятствий – стереокамерой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Putov V.V., Putov A.V., Sheludko V.N., Kazakov V.P., Stockaja A.D., Kopichev M.M., Ignatiev K.V. On correlation between the airport runway friction coefficient measurement results and the real-life aircraft take-off and landing braking characteristics [Text] // The proceedings of the XVIII International conference on soft computing and measurements SCM'2015, Saint Petersburg, May 19–21, 2015. pp. 119-121.
- [2] Циркуляр ИКАО «Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных». Международная ассоциация гражданской авиации (Cir 329 – AN/191-ICAO).-2012.
- [3] [Электронный ресурс] https://www.skybrary.aero/index.php/Notice_To_Airmen
- [4] [Электронный ресурс] <https://www.skybrary.aero/index.php/SNOWTAM>
- [5] [Электронный ресурс] https://znaytovar.ru/gost/2/REGA_RF_94_Rukovodstvo_po_eksp.html
- [6] Putov, A. V., Kopichev, M. M., Ignatiev, K. V., Putov, V. V., Stotckaia, A. D. (2017). Electromechanical imitator of antilock braking modes of wheels with pneumatic tire and its application for the runways friction coefficient measurement [Text] // Paper presented at the AIP Conference Proceedings, 1798 doi:10.1063/1.4972717.
- [7] [Электронный ресурс] <http://nvs-gnss.ru/products/modules/item/81-nv08c-rtk-a.html>
- [8] [Электронный ресурс] <http://navis.ru/ru/uslugi/tochnaya-navigaciya>