

Особенности метрологического обеспечения

средств и методов измерений коэффициента сцепления на воздушном транспорте



Среди основных и производных единиц Международной системы единиц СИ (в Российской Федерации она регламентирована ГОСТ 8.417-2002 [1]) отсутствует единица измерений такой величины, как “сцепление”. Однако ни один гражданский магистральный самолёт в мире не осуществит посадки в аэропорту без предварительного измерения аэродромной службой коэффициента сцепления ($K_{сц}$) взлётно-посадочной полосы (ВПП).

Какие же средства и методы используются для его измерения в российских и зарубежных аэропортах? Как обеспечить единство и достоверность результатов измерений $K_{сц}$?

Наличие трения даёт возможность передвигаться по поверхности. Так, при ходьбе именно за счёт трения происходит сцепление подошв с землёй или асфальтом, в результате чего происходит отталки-

вание от них и движение вперёд. Точно так же обеспечивается сцепление пневматиков колёс самолёта с поверхностью ВПП. При этом обеспокоенность может вызывать недостаточное сцепления между пневматиками самолёта и поверхностью ВПП в определённых эксплуатационных условиях (таких, как наличие на ВПП снега, слякоти, льда или воды) с учётом высоких скоростей самолёта на взлёте или посадке (180...220 км/ч). Особенно это важно [2] для самолётов с реактивными двигателями, поскольку характеристика торможения такого воздушного судна в значительной степени зависит от сцепления между пневматиками и поверхностью ВПП. Реактивные самолёты обладают высокими скоростями взлёта и посадки и соответственно требуют ВПП определённой длины. В некоторых случаях сейчас это значение приближается

А.А. Богоявленский,
кандидат технических наук

А.Е. Боков

ФГУП ГосНИИ ГА, Москва

Ключевые слова: сцепление; коэффициент сцепления; средства измерений коэффициента сцепления; метрологическое обеспечение; метрологические характеристики; калибровка; самолёт; аэродромная служба

ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ



к критичному в отношении длин располагаемых аэропортами ВПП. Кроме того, при наличии бокового ветра в таких эксплуатационных условиях ухудшается путевая управляемость самолёта.

Как показывает отечественная и зарубежная практика, основной причиной (или, по крайней мере, сопутствующим фактором) большинства инцидентов и авиационных происшествий, связанных с выкатыванием самолётов за пределы ВПП, являются недостаточные характеристики сцепления на ВПП при торможении самолёта. Соответствующие характеристики сцепления на ВПП необходимы:

1) для замедления движения самолёта после посадки или в случае прерванного полёта;

2) поддержания путевой управляемости во время пробегга по земле при взлёте или посадке (особенно при боковом ветре или несимметричной тяге двигателей в случае отказа одного из двигателей при взлёте);

3) раскрутки колёс в процессе приземления.

При посадке в момент касания самолётом ВПП сцепление на поверхности особенно важно для раскрутки колёс до полной скорости вращения. Это условие необходимо для оптимальной работы противоюзовой тормозной системы (установлена на большинстве современных самолётов), оборудованной электронным управлением, и для получения наилучших возможностей по выдерживанию направления. Кроме того, входящие в конструкцию самолёта антиспойлеры, которые устраняют остаточную подъёмную силу и увеличивают аэродинамическое сопротивление, а также системы автоторможения срабатывают только тогда, когда

достигается достаточная раскрутка колёс. В практике лётной эксплуатации имеют место случаи задержки раскрутки колёс из-за недостаточного сцепления на поверхности ВПП. В чрезвычайных случаях отдельные колёса могут совсем не поддаться раскрутке, в результате чего создаётся потенциально опасная ситуация и возможен разрыв пневматика.

Обычно сертификационные требования на современные самолёты и их эксплуатационные показатели основываются на характеристиках сцепления, обеспечиваемых чистой сухой поверхностью ВПП, т.е. когда достигается максимальное торможение самолёта на данной поверхности. Для мокрой ВПП обычно требуется увеличение посадочной дистанции.

Чтобы компенсировать уменьшение способности к торможению при неблагоприятных условиях на ВПП (таких, как влага или скользкое состояние), применяются поправки к характеристикам в виде увеличения длины ВПП, необходимой для посадки, или уменьшения допустимой взлётной или посадочной массы. Для компенсации пониженной путевой управляемости должна быть снижена допустимая составляющая бокового ветра.

Требования по оценке условий сцепления на поверхности ВПП

Характеристики сцепления на поверхности ВПП требуется определять, например, в следующих ситуациях [2]:

1) на сухих ВПП, где изредка проводятся измерения для оценки текстуры поверхности, износа и необходимости восстановления;

2) на мокрых ВПП, где необходимы лишь периодические измере-

ния характеристик сцепления с целью подтверждения, что они выше уровня, учитываемого при планировании ремонта, и (или) минимально допустимого уровня;

3) на скользких ВПП при метеоусловиях, появление которых требует проведения дополнительных измерений;

4) на покрытых снегом, слякотью или льдом ВПП, когда необходима постоянная и достоверная оценка условий сцепления с их поверхностью;

5) при наличии на ВПП слоя слякоти значительной толщины и протяжённости, мокрого или сухого снега, когда признаётся необходимость проведения измерений $K_{сц}$.

В названных ситуациях со стороны администрации аэропорта могут потребоваться следующие действия:

а) если характеристики сцепления на поверхности сухой или мокрой ВПП ниже минимально допустимого уровня сцепления, необходимо провести корректирующие действия по обслуживанию и, кроме того, предоставить информацию о потенциально возможной скользкости на мокрой ВПП;

б) на заснеженных и обледенелых ВПП действия могут зависеть от объёма перевозок через аэропорт, частоты ухудшения условий сцепления и наличия оборудования для очистки ВПП и проведения измерений, например:

– очень загруженный аэропорт или аэропорт с часто возникающими условиями, ухудшающими сцепление, важно обеспечить соответствующим оборудованием для очистки ВПП и средствами измерения $K_{сц}$ для проверки качества очистки;

– относительно загруженный аэропорт, где редко возникают ме-

теоусловия, ухудшающие сцепление, но в котором полёты должны продолжаться, несмотря на нехватку оборудования для очистки ВПП, а также аэропорт, в котором полёты могут быть приостановлены из-за неблагоприятных условий на ВПП, но требуется предупреждение о моменте возникновения таких условий, следует оснастить оборудованием для измерения $K_{\text{сц}}$ на ВПП.

Сцепление протекторов пневматиков самолёта с мокрой поверхностью

В отношении мокрой или залитой водой ВПП существует ряд отдельных, но связанных между собой аспектов проблемы торможения. Во-первых, “нормальное” сцепление на мокрой поверхности является состоянием, при котором вследствие наличия воды на ВПП $K_{\text{сц}}$ снижается по сравнению с $K_{\text{сц}}$ на той же, но сухой ВПП. Это объясняется невозможностью полного вытеснения воды между протектором пневматика и ВПП, в результате чего имеет место только частичный контакт, что в свою очередь приводит к заметному уменьшению силы, противодействующей относительному движению пневматика по ВПП, т.к. остальная часть контакта находится между протектором пневматика и водой. Поэтому для улучшения сцепления на мокрой или залитой водой ВПП необходимо, чтобы промежуточная водяная плёнка была удалена или нарушена в течение времени соприкосновения каждого элемента пневматика с ВПП. По мере увеличения скорости движения самолёта уменьшается время контакта колёс с ВПП и соответственно сокращается время для осуществления этого процесса. Таким образом, $K_{\text{сц}}$ на мо-

крых поверхностях имеет тенденцию к снижению по мере увеличения скорости самолёта, т.е. фактически поверхности становятся более скользкими.

Во-вторых, одним из наиболее серьёзных факторов в этих условиях является глассирование*, когда пневматики самолёта в значительной мере отделены от ВПП тонкой плёнкой жидкости. $K_{\text{сц}}$ становится минимальным, и поэтому колёсные тормоза и выдерживание направления движения самолёта с помощью колёс фактически теряет эффективность.

Типичное ухудшение сцепления на мокрой поверхности, а также ухудшение сцепления при увеличении скорости движения самолёта объясняются совместным действием вязкого динамического давления воды, которому подвергаются пневматик и поверхность. Такое давление вызывает частичную потерю “сухого” контакта, причём эта потеря имеет тенденцию к росту с увеличением скорости. Существуют также условия, в которых потеря бывает практически полной и сцепление падает до минимальных значений.

Коэффициент сцепления и основные типы средств его измерений

Коэффициент сцепления $K_{\text{сц}}$ [2] есть отношение касательной составляющей силы, требующейся для сохранения равномерного относительного движения между соприкасающимися поверхностями пневматиков самолёта и искусственного покрытия, к перпендикулярной составляющей силы, удерживающей эти поверхности в контакте друг

* Глассирование – движение по воде, при котором предмет удерживается на поверхности только благодаря скоростному напору воды, т.е. скользит по водной глади.

с другом (приложение силы распределённого веса самолёта к протектору пневматиков самолёта). Это достаточно простой способ количественного определения относительной скользкости поверхностей искусственных покрытий.

Коэффициент сцепления между протектором пневматика и ВПП зависит от ряда факторов, таких как скорость самолёта, текстура поверхности и тип загрязнения ВПП, толщина слоя загрязнения, состав резины пневматика, конструкция пневматика, рисунок протектора пневматика, температура поверхности протектора, износ пневматика, давление пневматика, эффективность системы торможения, тормозной момент, коэффициент проскальзывания колеса и время года. Некоторые из этих факторов оказывают влияние друг на друга, и каждый фактор в отдельности по-разному влияет на величину $K_{\text{сц}}$.

В настоящее время во всем мире применяются несколько конструктивно отличающихся друг от друга типов средств измерений $K_{\text{сц}}$, которые по характеру проводимых измерений можно отнести к 2 основным типам:

- 1) приборы, обеспечивающие постоянную и непрерывную запись величин $K_{\text{сц}}$ по всей длине ВПП. К ним относятся, например: мюметр, тестер трения Sarsys, скидометр, прицепное устройство ASFT модели Т-10, тележки АТТ-2М, АТТ-2, АТ-ЭМ, измеритель ИКС-1;
- 2) устройства дискретного (точечного) измерения $K_{\text{сц}}$: брейкметр-динометр, таплиметр, деселерометр 1155М.

Все средства измерений $K_{\text{сц}}$ проходят периодическое метрологическое обслуживание (калибровку) с целью подтверждения заявленных изготовителем технических ха-

ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ



рактических характеристик и погрешности. Измерение $K_{сц}$ осуществляется прошедшими обучение, аттестованными в установленном порядке и допущенными к работе со средствами измерения $K_{сц}$ специалистами аэродромных служб.

Зарубежные средства измерений коэффициента сцепления

Мю-метр (рис. 1) представляет собой прицеп массой 245 кг для измерения боковой силы сцепления, возникающей между измеряющими сцепление колёсами, установленными под углом 15° , при перемещении мю-метра по поверхности ВПП. Прицеп установлен на треугольной раме, куда вмонтированы 2 измеряющих сцепление колеса и заднее колесо, обеспечивающее устойчивость прицепа. Вертикальная нагрузка (≈ 80 кгс) создается балластом, расположенным вдоль оси амортизаторов на каждом из измеряющих сцепление колёс, коэффициент проскальзывания которых равен $13,5\%$. Измерение усилий производится тензометрическим датчиком, установленным между неподвижным и подвижным элементами треугольной рамы мю-метра. Датчик воспринимает

самые незначительные изменения растягивающих усилий от измеряющих сцепление колёс. Устройство согласования сигналов, находящееся на раме, усиливает принятые от тензодатчика аналоговые сигналы.

Датчик расстояния на заднем колесе мю-метра представляет собой закрытый фотоэлемент. Считывание производится приращением цифровых импульсов по тысяче на 1 оборот колеса с передачей сигналов на устройство согласования. При прохождении расстояния в 1 м сигналы передаются в вычислитель для расчёта пройденного расстояния и скорости в масштабе реального времени.

Вычислитель $K_{сц}$ размещают в кабине автомобиля-буксировщика. В комплект вычислителя входят 2 микропроцессора для индикации, вычисления, хранения и обработки данных, полученных от тензометрического датчика и датчика расстояния. Вычислитель обеспечивает непрерывное построение графика величин $K_{сц}$ по всей длине обследуемой ВПП. Оператору доступен выбор масштаба распечатки графика: длина отрезка 25 мм на бумаге может быть эквивалентна 20, 40, 85, 170 или 340 м. Растянутые масштабы могут использоваться для подробного рассмотрения тех зон, где предполага-

ются или имеются значительные колебания величин $K_{сц}$.

Тестер трения Sarsys (рис. 2) представляет собой автомобиль с передним приводом, оборудованный 5-м (измерительным) колесом, связанным цепной передачей с задней осью автомобиля. Постоянный коэффициент проскальзывания измерительного колеса составляет 13% . При измерении $K_{сц}$ на ВПП используется 2-осный силовой датчик, который измеряет как силу лобового сопротивления, так и вертикальную нагрузку на измерительное колесо. Этот метод исключает влияние прогибов автомобиля и износа пневматика, что обеспечивает мгновенное измерение величины динамического сцепления.

Величина вертикальной нагрузки на измерительное колесо (≈ 140 кгс) задается грузами, установленными на узле двойного пружинного амортизатора. Скорость автомобиля и пройденное расстояние рассчитываются встроенным компьютером по импульсам, поступающим от оптического датчика. Действующая на измерительное колесо сила лобового сопротивления и вертикальная составляющая нагружающей силы измеряется тензометрическим датчиком и передается в компьютер.

Компьютер осуществляет по 5 считываний этих величин на каж-



Рис. 1
Мю-метр



Рис. 2
Тестер трения Sarsys

дый метр пройденного расстояния и рассчитывает значение коэффициента динамического сцепления. Величина $K_{сц}$ записывается в память компьютера совместно с данными о скорости движения.

При измерении величины $K_{сц}$ данные обрабатываются и могут быть переданы по команде оператора на печатающее устройство, которое обеспечивает на бумажном носителе (ленте графика) постоянную регистрацию значений величины $K_{сц}$ и скорости движения автомобиля. Средние значения печатаются у края ленты. Передача данных происходит в течение всего времени измерения величины $K_{сц}$ до завершения проезда автомобиля по всей длине обследуемого участка ВПП.

Скидометр BV-11 (рис. 3) представляет собой прицеп массой 360 кг, оснащённый измерительным колесом, которое предназначено для работы с постоянным коэффициентом проскальзывания в диапазоне 15...17% в зависимости от конфигурации и используемого для проверки пневматика.

Прицеп состоит из 4-сторонней сварной рамы, установленной на 2 колёсах с независимой амортизацией. Все колеса связаны друг с другом с помощью роликовых цепей и зубчатых передач. Передаточное отношение обеспечивает вращение измерительного колеса с требуемым коэффициентом скольжения в зависимости от поверхности. Вертикальная нагрузка в 105 кгс на измерительное колесо задаётся грузом через пружинный амортизатор.

Крутящий момент, воздействующий на измерительное колесо, фиксируется специальным датчиком момента вращения. Скорость прицепа измеряется с помощью тахогенератора с приводом от одной из роликовых цепей. Кабель между



Рис. 3
Скидометр BV-11



Рис. 4
Прицепное устройство ASFT модели T-10

прицепом и буксирующим автомобилем переводит аналоговые сигналы в установленный в кабине автомобиля-буксировщика компьютер. Данные обрабатываются компьютером и могут выводиться на печатающее устройство (принтер) в виде непрерывной линии по всей длине обследуемого участка ВПП.

Прицепное устройство ASFT модели T-10 (рис. 4) представляет собой модифицированную версию устройств компании ASFT. Устройство-прицеп имеет относительно небольшую массу, поэтому для обеспечения нужной нагрузки на измерительное колесо в прицеп добавляются специально подобранные дополнительные грузы, которые обеспечивают его хорошую устойчивость и маневренность, а также надёжность результатов измерения. Для обеспечения безопасности оператора при-

цеп оборудован инерционными гидравлическими тормозами.

Гидравлическая система T-10 оснащена компьютерной системой Mark IV и может быть дополнительно оборудована передатчиком данных о результатах измерений. Компьютерная система состоит из измерительного процессора и главного компьютера с принтером и панелью оператора. Компьютер предварительно запрограммирован и настроен для проведения измерений и представления данных в соответствии с международными нормами и стандартами. Компьютерная система управляет процессом измерения и выводом информации на дисплей и/или принтер. Измерительный процессор получает аналоговые сигналы датчиков и генератора импульсов (для измерения скорости), преобразует их в цифровые сигналы и передаёт на главный ком-

ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ



пьютер. Когда измерительное колесо скользит по поверхности ВПП, трение создаёт крутящий момент, который передаётся на цепную систему трансмиссии и затем измеряется датчиком нагрузки.

Датчик нагрузки отслеживает наличие давления, создаваемого гидравлической системой (вектор направлен вертикально вниз), и призван следить за тем, чтобы во время измерений сохранялось давление, необходимое для обеспечения абсолютного контакта измерительного колеса с поверхностью дороги. Система Т-10 обеспечивает постоянное давление в механизме опускания и уборки измерительного колеса, а также создаёт вертикальную нагрузку на измерительное колесо.

На измерительном колесе установлены специальные покрышки высокого давления для измерения поверхностного трения – Friction Tester “Aero”, которые имеют практически такие же характеристики при торможении, что и покрышки колёс самолётных шасси. При калибровке системы могут быть использованы шины низкого давления. Коэффициент скольжения измерительного колеса $\approx 12\%$, он зависит от степени износа покрышки измерительного колеса и её типа.

К деселерометрам относятся брейкметр-динометры и таплиметры. Обеспечивают наиболее достоверную информацию о значениях $K_{\text{сц}}$ в случае, если на поверхности искусственного покрытия ВПП находится уплотнённый снег или лёд. Деселерометры не рекомендуется использовать на мокрых искусственных покрытиях ВПП, а также если поверхность ВПП покрыта рыхлым или сухим снегом, слой которого превышает 50 мм, или слякотью, высота которой превы-

шает 13 мм. Деселерометры монтируются внутри транспортного средства. В качестве транспортных средств применяют легковые, грузовые и грузопассажирские автомобили. Автомобили могут оснащаться приводом на два передних колеса, быть полноприводными и оснащаться противоблокировочной тормозной системой.

Износ рисунка протектора автомобильных колёс оказывает значительное влияние на величину измеренного $K_{\text{сц}}$, в связи с чем он не должен превышать 50%, а давление в них должно всегда поддерживаться на уровне, рекомендованном заводом-изготовителем для данного типа автомобиля. Тормозная система автомобиля должна быть отрегулирована согласно рекомендациям завода-изготовителя.

Деселерометр устанавливается в кабине автомобиля так, чтобы его корпус не смещался в какую-либо сторону при любом виде движения.

На момент измерения $K_{\text{сц}}$ деселерометр должен пройти техническое и метрологическое обслуживание.

Для измерения величины $K_{\text{сц}}$, с использованием деселерометров необходимо общую длину ВПП условно разделить на три равные части: зону приземления, среднюю (центральную) зону и зону после посадочного пробега. В каждой зоне должны быть проведены как минимум три измерения величины $K_{\text{сц}}$ на скорости около 35 км/ч. Для каждой зоны должно быть определено среднее значение величины $K_{\text{сц}}$. Средние значения величин $K_{\text{сц}}$ всегда должны регистрироваться в направлении посадки самолётов.

При измерении величины $K_{\text{сц}}$ поверхности ВПП следует учитывать, что:

- торможение автомобиля следует производить до полной блокировки колёс (время блокировки колёс не должно превышать 1 с);
- деселерометр должен зарегистрировать и удержать величину максимальной силы торможения;
- при расчёте средних значений величины $K_{\text{сц}}$ максимальным и минимальным значением можно пренебречь.

Основной недостаток деселерометров заключается в том, что они представляют собой устройства точечного измерения $K_{\text{сц}}$ и требуют разгона транспортного средства.

Брейкметр-динометр (рис. 5). Представляет собой точно сбалансированный маятник, который с помощью зубчатой секторной передачи приводит во вращение стрелку круговой шкалы. Круговая шкала градуируется в процентах. Для уменьшения влияния вибраций прибор заполнен нечувствительной к изменениям температуры жидкостью. Измеритель устанавливается на специальную подставку, закреплённую на полу автомобиля.

Устройство рекомендуется применять только на поверхностях ВПП, покрытых льдом и уплотнён-



Рис. 5
Брейкметр-динометр

ным снегом, и не рекомендуется – для работы на мокрых поверхностях искусственных покрытий.

Таплиметры. Существуют два вида таплиметров. Первый представляет собой механический измеритель, второй – современный электронный измеритель сцепления на лётном поле. Они рекомендуются для использования только на покрытых уплотнённым снегом и льдом поверхностях и не рекомендуются для работы на мокрых поверхностях ВПП с искусственным покрытием.

Механический таплиметр – небольшой механизм, состоящий из динамически тарированного погружённого в масло маятника в герметичном кожухе. Маятник имеет магнитную связь с передаточным механизмом, к которому прикреплена круглая шкала, указывающая величины в процентах. Храповой механизм удерживает максимальное отклонение шкалы до окончания измерения $K_{\text{сц}}$. Механизм заключён в алюминиевый кожух, шкала защищена стеклянным верхом.

При измерении величины $K_{\text{сц}}$ деселерометр устанавливается на полу автомобиля. Данные о величине $K_{\text{сц}}$ фиксируются оператором визуально.

Электронный таплиметр обеспечивает запись величин $K_{\text{сц}}$, включая средние величины для каждой трети ВПП. Принцип действия аналогичен действию механического деселерометра.

При подготовке к измерению $K_{\text{сц}}$ оператор устанавливает деселерометр на пол автомобиля. Пускатель монтируется на педали тормоза, а командный модуль – на присосках к окну автомобиля в месте, обеспечивающем видимость оператору. Эти устройства должны

использоваться только на поверхностях ВПП, покрытых льдом или уплотнённым снегом.

Основные типы российских средств измерений коэффициента сцепления

В Российской Федерации для измерения величины $K_{\text{сц}}$ на ВПП применяются, в основном, следующие средства: тележки аэродромные тормозные типа АТТ-2М и АТТ-2; измеритель ИКС-1; аэродромная тележка электромеханическая АТ-ЭМ; механический деселерометр 1155М.

Деселерометр 1155М (рис. 6). Представляет собой [3] переносной малогабаритный прибор маятникового типа, который для оценки условий торможения устанавливается на лобовое стекло автомобиля типа УАЗ-452 или аналогичного по характеристикам. Автомобиль должен иметь серийные шины с небольшим равномерным износом протекторов и давлением в соответствии с техническим паспортом. Тормозную систему автомобиля необходимо отрегулировать на одновременную блокировку всех колёс.

Для измерения $K_{\text{сц}}$ автомобиль разгоняется до скорости 11,1 м/с (40 км/ч), водитель быстро, но не резко нажимает на педаль ножного тормоза до упора на одну-две секунды. Торможение до полной остановки производить не обязательно. Маятник деселерометра вместе с фиксирующей стрелкой отклоняется в направлении движения. Считывается величина отрицательного ускорения. После снятия показаний фиксирующая стрелка с помощью головки устанавливается на отметку “0”. Прибор готов



Рис. 6
Деселерометр 1155М

к новым измерениям. Для определения $K_{\text{сц}}$ необходимо значения, показанные по шкале, умножить на коэффициент 0,1, т.е. при показаниях 5,5 м/с² нормативный коэффициент сцепления будет равен 0,55. В настоящее время подобная технология применяется крайне редко.

Тележка аэродромная тормозная АТТ-2М (рис. 7). Серийное производство начато в 2011 г. Представляет собой одноосный 2-колёсный прицеп, состоящий из рамы, установленной на амортизаторах и пружинах для гашения динамических колебаний при движении, центральной и боковой тяг дышла, карданного вала, блокировочной муфты, направляющей тяги с измерительным параллелограммом, защитного кожуха, сцепного устройства, рычага включения блокировочной муфты, крышки измерительного отсека, крышки смотрового люка; страховочного троса.

Направляющая тяга установлена в подшипниках скольжения и через измерительный параллелограмм соединяет раму тележки с боковой тягой дышла. Измерительный параллелограмм оборудован па-

ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ



а



б

Рис. 7
АТТ-2М: а – тележка; б – блок BRI3-KC

параллельно соединёнными силоизмерительным датчиком и разгрузочной планкой. Воздействующая на датчик нагрузка изменяет питающее напряжение, передаваемое через гибкий электрический кабель в блок регистрации BRI3-KC (см. рис. 7, б), который перед началом измерений $K_{сц}$ размещается в кабине автомобиля-буксировщика. Наличие амортизаторов позволяет обеспечить при измерении $K_{сц}$ скорость движения 65 ± 5 км/ч, сокращает время измерения и повышает оперативность принятия решений о состоянии ВПП.

Масса тележки АТТ-2М равняется 350 ± 5 кг. Нормальная реакция покрытия на измерительное колесо составляет $150 \pm 2,5$ кг, на ведущее колесо – $180 \pm 2,5$ кг.

Кроме того, тележка аэродромная тормозная типа АТТ-2М обеспечивает документальную регистрацию $K_{сц}$ на бумажном и электронном носителях, вычисление средних значений $K_{сц}$ по третям ВПП и по всей ВПП, определение скорости, при которой проводились измерения $K_{сц}$, и пройденного при этом расстояния.

Тележка аэродромная тормозная АТТ-2. Наиболее распространённый в настоящее время на территории РФ и стран СНГ тип средства измерений $K_{сц}$. Серийное производство

АТТ-2 начато в 1974 г. Является прототипом тележки АТТ-2М. Тележки АТТ-2 могут быть оснащены блоками визуальной регистрации АВР либо блоками документальной регистрации БИО-ВПП, Хиоки или BRI3-KC. Скорость движения автомобиля-буксировщика тележки АТТ-2 при измерении $K_{сц}$ составляет 40...45 км/ч.

Измерение $K_{сц}$ тележкой АТТ-2, оборудованной блоком АВР, выполняется в следующем порядке:

- АТТ-2 соединяют со сцепным устройством автомобиля-буксировщика, обеспечивающим горизонтальное положение верхней плоскости тележки, после чего подключают питание устройства к розетке автомобиля, соблюдая полярность;

- включив питание, блок АВР прогревают в течение 8...15 мин. Стрелка прибора должна быть выставлена в чёрный сектор шкалы на режим “Калибровка”. Далее переключатель режима работы переводится в положение “Измерение”, при этом стрелка должна остановиться на отметке со значением $(0 \pm 0,02)$, в противном случае производится корректировка потенциометром;

- движение по искомому участку начинают со скоростью 11,1...12,5 м/с (40...45 км/ч) по линии, отстоящей на 5...10 м от продоль-

ной оси ВПП справа. В процессе движения оператор должен следить за показаниями стрелки по шкале микроамперметра. Показание шкалы в единицах коэффициента сцепления с шагом 50...100 м оператор при движении заносит в блокнот, при этом обязательно фиксируются минимальные значения коэффициента сцепления;

- по окончании ВПП автомобиль-буксировщик с АТТ-2 разворачивается и начинает движение в обратном направлении по линии, отстоящей на 5...10 м от оси ВПП справа (слева) относительно посадочного курса. В процессе движения оператор продолжает фиксировать показания прибора;

- по результатам показаний для каждого конкретного участка ВПП при движении справа и слева от оси вычисляется среднеарифметическая величина $K_{сц}$.

Измеритель коэффициента сцепления ИКС-1. В комплект входят буксируемая электромеханическая тележка, пульт управления и индикации. Тележка представляет собой конструкцию, объединённую рамой и передней подвеской автомобиля ВАЗ-21213, с фаркопом для сцепления с автомобилем-буксировщиком, имеет 2 несущих колеса, специальное измерительное колесо Trelleborg Unitester 520 4.00-8 6P.R и опорное

колесо. На измерительном и несущем колёсах установлено по 1 индуктивному датчику угловой скорости. В состав тележки входят также электрошкаф управления и тормозной электрогенератор. Устройство позволяет проводить измерение $K_{\text{сц}}$ с установленным значением проскальзывания $(10 \pm 1)\%$ при допустимом диапазоне программного поддержания проскальзывания измерительного колеса $0...50\%$. Скорость движения в режиме измерения $K_{\text{сц}}$ составляет 65 ± 5 км/ч; давление в шинах измерительного и ведущих колёс $2,0 \pm 0,2$ кгс/см². Общая снаряжённая масса тележки не превышает 500 кг.

Измерение $K_{\text{сц}}$ осуществляется прокатыванием измерительного колеса по поверхности ВПП. Силовое воздействие на колесо со стороны искусственного покрытия в диапазоне $1...100$ кгс измеряется тензодатчиком Vishay single-point 1142. Достоверность результатов гарантирует рабочий температурный диапазон $-10...+40^\circ\text{C}$.

Аэродромная тележка электро-механическая АТ-ЭМ (рис. 8). Особенностью АТ-ЭМ является наличие 2 измерительных колёс (в отличие, например, от российских тележек АТТ-2 и АТТ-2М или прицеп-

ного устройства ASFT модели Т-10). Принцип действия АТ-ЭМ основан на измерении силы трения каждого из двух измерительных колёс о поверхность ВПП, вычислении $K_{\text{сц}}$ и независимом поддержании заданного значения скольжения измерительного колеса. Принцип электро-механического торможения, по мнению разработчика АТ-ЭМ, позволяет имитировать режим торможения авиашасси любого типа ВС.

Конструктивно АТ-ЭМ состоит из прицепного устройства в виде 2-колёсного шасси (измерителя фрикционных свойств), буксируемого за автомобилем по ВПП; блока измерения и обработки $K_{\text{сц}}$, размещаемого в кабине автомобиля-буксировщика, а также рабочего места оператора на командно-диспетчерском пункте аэродрома, куда оперативно (по радиоканалу) передаются результаты измерений $K_{\text{сц}}$.

Определение силы трения каждого из измерительных колёс о поверхность ВПП осуществляется с помощью электронно-механического измерителя силы (ЭМИС), установленного между ступицей колёс и неподвижной рамой тележки. В ЭМИС происходит цифровая обработка аналогового сигнала, по-

лученного непосредственно от установленного на ЭМИС датчика силы. Затем данные по цифровому каналу передаются на блок измерения и обработки.

Метрологическое обеспечение средств и методов измерений коэффициента сцепления

Метрологическое обеспечение средств и методов измерений $K_{\text{сц}}$ подразумевает ведомственные испытания (метрологическую аттестацию) и метрологическое обслуживание (первичное и периодическое). Каждое направление подразделяется в свою очередь ещё на ряд составляющих.

Ведомственные испытания. На воздушном транспорте РФ средства измерений $K_{\text{сц}}$ относятся к категории специальных СИ. Поэтому все они допускаются к применению только после прохождения с положительными результатами ведомственных испытаний (метрологической аттестации), общий порядок проведения которых изложен в РД 54-005-027-89 [4]. Для обеспечения прослеживаемости метрологических характеристик СИ $K_{\text{сц}}$, применяемых в гражданской авиации РФ, согласно Государственной поверочной схеме измерения силы по ГОСТ Р 8.663-2009 [5] ГосНИИ ГА разработана локальная калибровочная схема (рис. 9), введённая в действие Распоряжением [6] Минтранса РФ.

Специализированная методика проведения ведомственных испытаний разработана ГосНИИ ГА ещё около 30 лет назад. В табл. 1 приведены сведения о средствах измерений $K_{\text{сц}}$, прошедших ведомственные испытания в период с 1983-го по 2011 г. и внесённых в Перечень



Рис. 8
АТ-ЭМ

ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ

Таблица 1. Средства измерений $K_{сц}$, прошедшие ведомственные испытания в период с 1983-го по 2011 г.

| Специальное средство измерений | Изготовитель | Номер Регистрационного удостоверения |
|---|---|--------------------------------------|
| 1. Тележка аэродромная тормозная АТТ-2М | ОАО "Опытный завод № 31 ГА" (г. Щёлково Московской обл.) | 238-10-2011 |
| 2. Блок регистрации и измерения коэффициента сцепления БРИЗ-КС | ОАО "Опытный завод № 31 ГА" (г. Щёлково Московской обл.) | 237-06-2011 |
| 3. Измеритель коэффициента сцепления ИКС-1 | ИК "Созвездие" (Санкт-Петербург) | 224-06-2009 |
| 4. Тележка аэродромная тормозная АТТ-2 с изменённой комплектацией измерительной схемы | ОАО "Опытный завод № 31 ГА" (г. Щёлково Московской обл.) | 218-12-2008 |
| 5. Аэродромная тележка электромеханическая АТ-ЭМ | "Планета" (Санкт-Петербург) | 195-06-2007 |
| 6. Автоматизированная система измерения коэффициента сцепления АСК-ВПП (в составе датчика ЭМИС и блока БИО-ВПП) | "Планета" (Санкт-Петербург) | 192-12-2006 |
| 7. Прицепное устройство ASFT модели T-10 | Airport Surface Friction Teste, Швеция | 185-02-2006 |
| 8. Блок измерения и обработки информации типа БИО-ВПП | "Планета" (Санкт-Петербург) | 84-06-1998 |
| 9. Аэродромная тормозная тележка АТТ-2 | ОАО "Опытный завод № 31 ГА" (г. Щёлково, Московская обл.) | 34-11-1983 |

специальных средств измерений гражданской авиации с выдачей Регистрационных удостоверений со стороны отечественной Авиационной администрации.

Метрологическое обслуживание. Все отечественные и зарубежные СИ $K_{сц}$ при выпуске из производства и перед вводом в эксплуатацию на российских предприятиях воздушного транспорта должны с положительными результатами проходить первичное, а в дальнейшем – с интервалом в 3 мес. – и периодическое метрологическое обслуживание (калибровку) с целью подтверждения нахождения фактических значений погрешностей измерений в пределах допускаемых значений.

Метрологическое обслуживание СИ $K_{сц}$ осуществляется – как этого требуют отечественные [7] и международные [2] документы – метрологическими службами предприятий воздушного транспорта, аккредитованными на право калибровки специальных СИ. Аккредитованные метрологические службы должны иметь необходимые образцовые СИ (рабочие эталоны), квалифицированный персонал, методики калибровки, а также соблюдать ещё целый ряд требований к компетентно-

сти калибровочных лабораторий и качеству калибровки, изложенных в ГОСТ 17025-2009 [8].

Как аккредитующий орган Российской системы калибровки (уполномоченная экспертная организация) ГосНИИ ГА провёл оценку технической компетентности в области калибровки специальных СИ $K_{сц}$ метрологических служб 15 предприятий воздушного транспорта по всей территории РФ. Все получившие положительную оценку службы имеют действующие Аттестаты аккредитации, подтверждающие полномочия по проведению подобного рода калибровочных работ.

Исследование метрологических характеристик измерителя коэффициента сцепления

В период с ноября 2010 г. по март 2011 г. специалистами Метрологической службы ГосНИИ ГА проведена метрологическая аттестация (ведомственные испытания) специального СИ – тележки аэродромной тормозной АТТ-2М, оснащённой блоком регистрации

и измерения значений коэффициента сцепления БРИЗ-КС.

Одним из условий успешной и эффективной эксплуатации любого сложного изделия является наличие комплекта подробной эксплуатационной документации, отвечающей положениям ГОСТ 2.601-2006 [9] и ГОСТ 2.610-2006 [10]. Для этого в соответствии с РМГ 63-2003 [11] и ОСТ 54-3-156.66-94 [12] проведена метрологическая экспертиза руководства по эксплуатации и формуляра на АТТ-2М. Выявленные при проведении экспертизы несоответствия устранены разработчиком в полном объёме до окончания испытаний.

Испытательной лабораторией программного обеспечения средств измерений и информационно-измерительных систем, функционирующей в составе Метрологической службы ГосНИИ ГА, протестировано в соответствии с положениями ГОСТ Р 8.654-2009 [13] программное обеспечение, используемое при измерениях тележкой АТТ-2М значений $K_{сц}$.

В ходе ведомственных испытаний АТТ-2М оценивались фактические значения суммарной погрешности измерения $K_{сц}$, которая складывается из статической и динамической составляющих. Определе-

ние статической составляющей суммарной погрешности измерений $K_{\text{сц}}$ тележкой АТТ-2М проводилось в лабораторных условиях на снятом с неё измерительном канале в соответствии с Руководством [14] по эксплуатации АТТ-2М (п. 3.4) и согласно Руководству [15] по эксплуатации блока БРИЗ-КС (раздел 5) на базе метрологической службы ОАО «Аэрофлот – Российские авиалинии» при температуре окружающего воздуха от 20 до 22°C и отсутствии источников электрических и магнитных полей, вибрации, тряски. В качестве рабочего эталона применялось силоизмерительное электронное устройство ТВЭУ-02П/01 № 00-3610.

Установлено, что фактически полученные максимальные значения статической составляющей суммарной погрешности измерений $K_{\text{сц}}$ тележкой АТТ-2М для доверительной вероятности 0,95 составляют $\pm 1,73\%$ в диапазоне 0,10...0,30 ед. $K_{\text{сц}}$, $\pm 0,55\%$ в диапазоне 0,31...0,80 ед. $K_{\text{сц}}$, что не превысило допускаемых значений.

При исследовании метрологических характеристик тележки АТТ-2М были проведены настройка, техническое обслуживание и проверка технических характеристик тележки в объёме операций и с использованием СИ, предписанных Руководством [14]. Проверка чувствительности тележки АТТ-2М (рис. 10) проводилась на технологическом натяжном стенде СМП-1, принадлежащем ОАО «Опытный завод № 31 ГА», путём прокатывания АТТ-2М с включённой блокировочной муфтой по контрольным поверхностям и регистрации полученных данных. В качестве контрольных использованы сухие поверхности, различные по свойствам и имитирующие состояния

покрытия с отличающимися друг от друга значениями $K_{\text{сц}}$, – фторопласт и бетон. При этом согласно Техническим условиям [16] допускаемые значения $K_{\text{сц}}$ при проверке чувствительности на стенде СМП-1 должны находиться в пределах (0,38...0,42) ед. $K_{\text{сц}}$ для поверхности из фторопласта и (0,48...0,52) ед. $K_{\text{сц}}$ для поверхности из бетона.

При использовании датчика Мератат К-16А результаты измерений $K_{\text{сц}}$ на бетоне составили 0,51 ед., на поверхности из фторопласта 0,39 ед. Для датчиков ЛХ-144 на бетоне $K_{\text{сц}}$ составил 0,52 ед. и на поверхности из фторопласта 0,41 ед. Таким образом, чувствительность измерительного канала $K_{\text{сц}}$ тележки АТТ-2М сравнима с измерительным каналом АТТ-2 и соответствует требованиям Технических условий [16].

Оценка динамической составляющей суммарной погрешности измерений $K_{\text{сц}}$ тележкой АТТ-2М проводилась отделом Главного метролога ГосНИИ ГА на базе ОАО «Международный аэропорт Шереметьево» при участии специалистов аэродромной службы и завода-изготовителя. Было выбрано 4 участка покрытия ВПП длиной 500 м, различающихся между собою величиной $K_{\text{сц}}$: бетон сухой; бетон

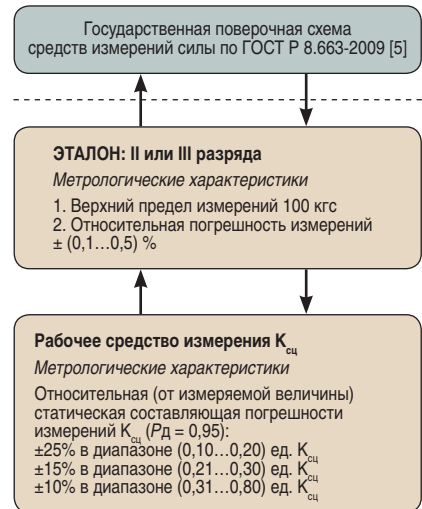


Рис. 9 Локальная калибровочная схема средств измерений коэффициента сцепления

влажный; бетон, покрытый льдом; бетон, покрытый шероховатым льдом. Температура окружающего воздуха соответствовала диапазону рабочих температур тележки АТТ-2М [14].

Предъявленной к испытаниям тележкой на выбранных участках покрытия последовательно производилось по 2 проезда (туда и обратно). В автоматическом режиме осуществлялась запись измеренных значений $K_{\text{сц}}$ в память блока БРИЗ-КС. Результаты измерений и обработки

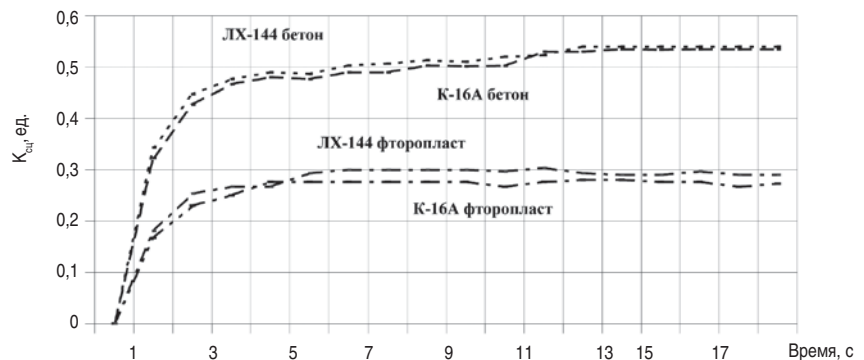


Рис. 10 Результаты проверки чувствительности при измерении $K_{\text{сц}}$ на поверхностях из бетона и фторопласта

ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ



данных показали, что статическая и динамическая составляющие погрешности измерения $K_{сц}$ тележки АТТ-2М и соответственно суммарная погрешность не превышают значений, установленных в Методических указаниях [6].

Кроме прочего, испытания (рис. 11) проводились с целью подтверждения возможности замены штатного измерительного канала $K_{сц}$ серийно выпускаемой тележки АТТ-2, оснащённой блоком АВР и датчиком ЛХ-144, на измерительный канал, состоящий из блока БРИЗ-КС и силоизмерительного датчика Мерадат-К-16А-0,5-СЗ. Необходимым условием такого рода испытаний является обеспечение идентичности условий проведения работ и возможности достоверного сравнения показаний штатного измерительного канала $K_{сц}$

и предлагаемого для замены. Для этого была разработана и реализована на практике измерительная схема, позволяющая производить в процессе ведомственных испытаний одновременное измерение значений $K_{сц}$ датчиками ЛХ-144 и Мерадат-К-16А-0,5-СЗ в одной и той же точке искусственного покрытия при проезде по нему тележки АТТ-2М.

Испытания проводились на нескольких участках покрытия ВПП (длиной по 3400 м), различающих-

ся между собою по величине $K_{сц}$, а именно, на сухом бетоне, бетоне с отложениями резины от шин авиационных колёс, бетоне, увлажнённом противообледенительной жидкостью и др. Эксперимент показал, что разность средних арифметических значений результатов измерений $K_{сц}$ по трём ВПП с использованием блока БРИЗ-КС отличается от показаний штатного измерительного канала тележки АТТ-2 не более чем на $\pm 0,02$ ед. $K_{сц}$, что не превышает допускаемых значений. В ходе испытаний было также установлено, что суммарная погрешность измерения расстояния, пройденного тележкой АТТ-2М, характеризуется погрешностью, обусловленной допуском на диаметр шины ведущего колеса, регламентированный заводом-изготовителем, и не превышает $\pm 1,0\%$. Кроме того, оценена суммарная погрешность измерения скорости движения тележки АТТ-2М, которая складывается из погрешности определения пройденного расстояния и погрешности определения времени, за которое тележка АТТ-2М преодолела пройденное расстояние. Установлено, что суммарная погрешность определения скорости движения тележки АТТ-2М также не превышает $\pm 1\%$.

Значения метрологических характеристик тележки АТТ-2М (табл. 2) действительны при нахождении технических характеристик в пределах нормированных значений (табл. 3).

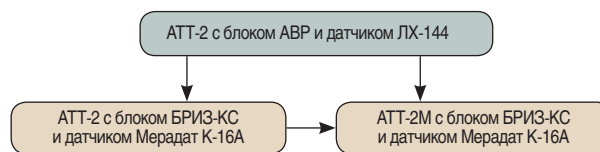


Рис. 11
Блок-схема экспериментальных исследований

Таблица 2. Основные результаты исследований метрологических характеристик аэродромной тормозной тележки АТТ-2М

| Метрологическая характеристика | Нормированное значение |
|--|--|
| 1. Диапазон измерения коэффициента сцепления ($K_{сц}$) | 0,1...0,8 ед. $K_{сц}$ |
| 2. Относительная (от измеряемого значения) статическая составляющая погрешности измерений $K_{сц}$ ($R_d = 0,95$) в диапазонах: 0,1...0,20 ед. $K_{сц}$ 0,21...0,30 ед. $K_{сц}$ 0,31...0,80 ед. $K_{сц}$ | $\pm 25\%$ $\pm 15\%$ $\pm 10\%$ |
| 3. Дискретность отсчёта $K_{сц}$ | 0,01 ед. $K_{сц}$ |
| 4. Диапазон определения расстояния, пройденного тележкой | 0...10 км |
| 5. Погрешность определения расстояния, пройденного тележкой | $\pm 1\%$ |
| 6. Частота опроса (дискретность отсчёта) расстояния, пройденного тележкой | не более 2,4 м |
| 7. Диапазон определения скорости движения тележки при измерении $K_{сц}$ | 65 \pm 5 км/ч |
| 8. Погрешность определения скорости движения тележки | $\pm 1\%$ |
| 9. Дискретность отсчёта скорости движения тележки | 1 км/ч |

Примечание: Оценка погрешности измерений $K_{сц}$ проведена без учёта приведения к значениям нормативного $K_{сц}$ согласно РЭГА РФ-94 [9].

Таблица 3. Нормированные значения технических характеристик АТТ-2М

| Техническая характеристика | Нормированное значение |
|--|--|
| 1. Давление воздуха в шинах пневматиков колёс тележки: – измерительного колеса с авиационной шиной 660×160×355 – ведущего колеса с автомобильной шиной модели 205/70 R15 | 0,8 \pm 0,3 кгс/см ² 2,0 \pm 0,4 кгс/см ² |
| 2. Износ протектора измерительного колеса тележки АТТ-2М | Наличие шипов в канавках протектора |
| 3. Скорость движения тележки в процессе измерений $K_{сц}$ | 65 \pm 5 км/ч |
| 4. Питающее напряжение блока БРИЗ-КС | 12,0 \pm 0,4 В |

В результате исследования метрологических характеристик аэродромной тормозной тележки АТТ-2М – измерителя коэффициента сцепления – как типа специального средства измерений установлено, что метрологические характеристики тележки АТТ-2М не хуже, чем у тележек АТТ-2, применяемых в аэродромных службах отечественных аэропортов.

Тележка аэродромная тормозная типа АТТ-2М подтвердила соответствие метрологических характеристик, установленных в Технических условиях [16] и Руководстве по эксплуатации [14] и внесена в Перечень специальных средств измерений, применяемых в ГА РФ. Периодическое метрологическое обслуживание тележки АТТ-2М предполагает проведение работ по калибровке блока регистрации БРИЗ-КС, которую на основании Руководства [14] по эксплуатации АТТ-2М следует проводить согласно Руководству [15] по эксплуатации блока БРИЗ-КС. Периодическое метрологическое обслуживание тележки может осуществляться метрологическими службами организаций воздушного транспорта, аккредитованными на право калибровки специальных средств измерений согласно РД 54-3-152.51-97 [7]. Периодичность метрологического обслуживания – раз в три месяца.

От состояния метрологического обеспечения измерителей $K_{\text{сц}}$ зависят достоверность количественной оценки характеристик сцепления ВПП и, как следствие, условия безопасного взлёта и посадки самолётов. Гарантировать достоверность измерений величины $K_{\text{сц}}$ невозможно без проведения работ по обеспечению единства измерений и периодическому метрологическому

обслуживанию средств и методов определения $K_{\text{сц}}$.

Современные измерители $K_{\text{сц}}$ – как зарубежного, так и отечественного производства – обеспечивают возможность документирования результатов измерения значений $K_{\text{сц}}$ на бумажном и электронном носителе, что позволяет исключить возможность намеренного или непреднамеренного их искажения. Сконструированные в последние годы и серийно выпускаемые отечественные измерители $K_{\text{сц}}$ по своим техническим и метрологиче-

ским характеристикам соответствуют международным [2] и отечественным [3] требованиям.

Разработанная Головной организацией метрологической службы гражданской авиации – ФГУП ГосНИИ ГА – ещё в 80-е годы прошлого века методика оценки метрологических характеристик измерителей $K_{\text{сц}}$ подтвердила свою универсальность и может применяться в настоящее время при проведении испытаний вновь разрабатываемого оборудования для измерения $K_{\text{сц}}$.

Литература

1. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.
2. DOC 9137-AN / 898. Руководство по аэропортовым службам. Состояние поверхности покрытия. – 4-е изд. – ИКАО, 2002.
3. РЭГА РФ-94. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации. – М.: Воздушный транспорт, 1995.
4. РД 54-005-027-89. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Нестандартизованные средства измерений. Порядок разработки, изготовления, испытаний и аттестации.
5. ГОСТ Р 8.663-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений силы.
6. О введении в действие локальной калибровочной схемы средств измерений коэффициента сцепления и методических указаний по калибровке тележки аэродромной тормозной типа АТТ-2 в организациях гражданской авиации / Распоряжение Минтранса РФ от 04.08.2000 № 163/р.
7. РД 54-3-152.51-97. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Порядок аккредитации метрологических служб предприятий гражданской авиации на право калибровки специальных средств измерений.
8. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Межгосударственный стандарт. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
9. ГОСТ 2.601-2006. ЕСКД. Эксплуатационные документы.
10. ГОСТ 2.610-2006. ЕСКД. Правила выполнения эксплуатационных документов.
11. РМГ 63-2003. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации.
12. ОСТ 54-3-156.66-94. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации. Основные положения.
13. ГОСТ Р 8.654-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения.
14. Тележка аэродромная тормозная АТТ-2М. Руководство по эксплуатации. КД2.835.000-01РЭ. – Щёлково: ОАО «ОЗ № 31 ГА», 2011.
15. Блок регистрации и измерения значений коэффициента сцепления БРИЗ-КС. Руководство по эксплуатации. КД 5.139.049 РЭ. – Щёлково: ОАО «ОЗ № 31 ГА», 2010.
16. ТУ 54-53-031-013-2011. Тележки аэродромные тормозные АТТ-2. Технические условия.