



УДК 681.5

В. Н. Шелудько

СОЗДАНИЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Рассматриваются вопросы построения нового поколения автоматизированных мобильных электромеханических комплексов непрерывного измерения коэффициента сцепления аэродромных покрытий, основанных на принципе торможения прокатываемого измерительного колеса с автоматически управляемым скольжением, осуществляемым электромеханическими устройствами торможения, реализованными на базе электрических машин постоянного или переменного тока, а также стендового оборудования для всех видов испытаний мобильных комплексов при их проектировании и эксплуатации.

Безопасность посадки воздушных судов, автоматически управляемое электромеханическое устройство торможения, буксируемые мобильные электромеханические комплексы измерения коэффициента сцепления, стенды для проведения испытаний мобильных комплексов в лабораторных и аэродромных условиях

Проблемы безопасности существуют во всех областях техники и сферах деятельности, где существует угроза здоровью и жизни человека. К таким видам деятельности, связанным с орудиями труда, представляющими повышенную опасность для жизнедеятельности, относятся и транспорт, поэтому его безопасность является составной частью национальной безопасности Российской Федерации. Особенно это актуально для воздушного транспорта Гражданской авиации, в частности при посадке в экстремальных погодных условиях. Аварийность на транспорте непрерывно возрастает и требует поиска новых подходов к обеспечению безопасности транспортных средств.

Последнее десятилетие отмечено значительным ростом аварийности воздушного транспорта как в России, так и за рубежом. Все самолеты на заключительном этапе посадки тормозят колесами, и ливень, слякоть, снег, лед, изморозь вместе с загрязнением взлетно-посадочной полосы резиновыми отложениями создают угрозу возникновения нештатных ситуаций или даже аварий воздушных судов при недостаточно эффективном тормо-

жении при посадке. Поэтому наиболее востребована техника предпосадочного оперативного контроля состояния покрытий аэродромов гражданской авиации – перед посадкой самолета проводят оперативную оценку фрикционных свойств поверхности взлетно-посадочных полос (ВПП) с помощью специализированных мобильных установок аэродромного обслуживания, прокатывая и подтормаживая с постоянным скольжением измерительное (транспортное) колесо вдоль по всей ее длине туда и обратно (по предполагаемому следу колес авиашасси самолета) с одновременным измерением текущего коэффициента сцепления измерительного колеса с поверхностью ВПП. По результатам экспертного анализа данных измерений командно-диспетчерский пункт (КДП) аэродрома разрешает или отклоняет посадку подлетающего судна.

Разработка методов измерения коэффициента сцепления с помощью прокатывания измерительного колеса с постоянным скольжением и реализующих их технических средств осуществляется с начала 1960-х гг. трудами многих отечественных и зарубежных ученых и инженеров, и среди них М. А. Печерский, А. М. Дубовец, Е. В. Иваница, В. Н. Глуховский, А. И. Булах, Ф. К. Андриади, А. Ф. Котвицкий, А. П. Васильев, С. С. Кизима, А. И. Каазик, В. М. Кейн, Я. С. Сегал, В. А. Максимовский, Б. М. Елисеев, А. М. Ивантев, В. Е. Тырса, И. И. Кельман, Ю. А. Лакатош, Я. А. Косый, Ю. С. Рахубовский, С. Н. Журавлева, Г. В. Орловская, В. В. Порубай, А. А. Шестопалов, В. Г. Транквиллевский, С. Е. Аргунов, Л. П. Медрес, В. В. Щербаков, В. В. Путов, А. В. Низовой, Н. П. Петров, В. Флорман, G. Kullberg, O. Nordström, G. Palmkvist, O. Kollerud, R. Malcus, S. Edvin, O. Johnsen, H. James, T. Yager и др.

Следует отметить, что управление скольжением транспортных колес с целью обеспечения наилучшего торможения остается одной из наиболее известных и в то же время далеких от полного разрешения задач в области конструирования транспорта. Известно, что на поверхностях, характеризующихся «сухим» трением, наиболее эффективно торможение без проскальзывания колеса со значениями момента торможения, близкими к моменту «покоя» («трогания»), который соответствует максимальному значению момента трения, а значит, и наилучшему торможению. На самом деле, осуществляемое самолетными автоматами торможение определяется не столько самим фактом отсутствия блокировки колес, сколько обеспечением оптимального значения проскальзывания между аэродромным покрытием и пневматиком авиаколес. Реальный процесс торможения, в силу проявления эффекта сухого трения, носит периодический («срывной») характер, и статистика утверждает, что обычно торможение осуществляется автоматами торможения при среднем значении скольжения, равном $0,1 \dots 0,2$, а наиболее быстродействующие современные автоматы торможения работают при среднем скольжении, даже меньшем $0,05$.

Однако все существующие в мире мобильные установки для измерения коэффициента сцепления прокатывают измерительное колесо по поверхности ВПП принудительно равномерно с постоянным значением скольжения, задаваемым кинематически, поэтому в них нельзя управлять режимами торможения, а это, как следует из вышесказанного, далеко не соответствует действительным режимам торможения колес авиашасси самолетов при посадке. Следовательно, измерения, проводимые с помощью таких установок, должны приводить к значительным ошибкам при оценке критического тормозного пути и подсчетам в принятии решения о посадке воздушных судов.

Описанный кинематический принцип торможения реализуют все без исключения компании – производители мобильных средств аэродромного обслуживания. Мировое лидерство в области измерений покрытий принадлежит шведской компании ASFT (Airport Surface Friction Tester). Другим конкурентным продуктом на мировом рынке является буксируемая установка модели Skiddometer BV 11, выпускаемая финской компанией Patria Industries Oyj. Видное место занимают также установки GripTester и Mu-Meter английских компаний Tradewind Scientific и Specialist Electronic Services. Всего насчитывается более двух десятков марок мобильных измерителей коэффициента сцепления, прочно закрепившихся на мировом рынке. На российских аэродромах гражданской авиации уже более 40 лет находится единственное национальное средство измерения коэффициента сцепления – буксируемая аэродромная тормозная тележка АТТ-2 (рис. 1). Однако в настоящее время она уже не удовлетворяет международным стандартам, глубоко морально устарела и требует замены. Российская компания



Рис. 1

«АвтоВАЗ» пыталась освоить возникшую отечественную нишу, разрабатывая измеритель сил трения «Лада-Аэро», устанавливаемый на усиленном автомобиле ВАЗ-2108, но так и не приступила к его серийному производству.

На кафедре САУ СПбГЭТУ в последнее десятилетие разработаны научные и методологические основы и ряд технических решений в области создания нового поколения автоматизированных мобильных комплексов предпосадочного контроля фрикционных свойств аэродромных покрытий, создана лаборатория, оснащенная уникальным автоматизированным стендом с барабанным имитатором «бегущей дорожки», которой можно придавать различные сцепляющие свойства. Такой стенд позволяет обеспечить проведение научных исследований и различных видов приемосдаточных, сертификационных, квалификационных и иных испытаний создаваемых мобильных комплексов в лабораторных условиях, заменяя ими дорогостоящие и времязатратные испытания на аэродромах. Разработанный на кафедре к настоящему времени комплекс научно обоснованных методологических, технических, конструкторских и технологических решений может послужить базой для создания высокотехнологичного производства и серийного освоения указанной продукции в масштабах отрасли воздушного транспорта гражданской авиации РФ.

1. Анализ возрастающих и усложняющихся международных требований к состоянию поверхностей покрытий ВПП и к точности и уровню автоматизации мобильных установок предпосадочного измерения коэффициента сцепления покрытий, обзор отечественных и зарубежных методов и технических решений в области таких измерений и анализ мирового парка мобильных установок измерения коэффициента сцепления позволили сформулировать следующие основные проблемы, решение которых должно стать определяющим в развитии этой области.

Главная проблема, в принципе не разрешимая в рамках существующих методов и средств измерения, состоит в том, что совершенствование самолетных автоматов торможения колес воздушных судов при посадке позволяет им осуществлять режимы торможения, не адекватные приближенной модели торможения с постоянным значением скольжения, и, следовательно, на поверхностях с сухим, полусухим или полужидкостным трением результаты измерений коэффициента сцепления дают заниженные результаты по сравнению со сцепными свойствами аэродромных покрытий, реально проявляющимися при посадке современных воздушных судов.

Второй важной проблемой является невозможность адекватного учета в рамках существующих измерительных средств непредсказуемых эффектов сцепных свойств, возникающих при загрязнении поверхности ВПП нефтяными продуктами и резиновыми отложениями, что приводит к неверным результатам измерения; исследование же этих эффектов методом прокатки транспортного колеса с постоянным скольжением невозможно и требуются более гибкие режимы измерения.

Наконец, третьей проблемой, тесно связанной с загрязнением, особенно с загрязнением резиновыми отложениями, является резкоконтрастное изменение значений коэффициента сцепления загрязненной поверхности при ее смачивании, а резкие перепады сцепных свойств, которые могут послужить причиной аварии и даже гибели воздушного судна при посадке, как правило, плохо диагностируются в процессе измерения известными методами с постоянным скольжением.

2. В работах кафедры впервые в мировой практике выдвинуты и обрели воплощение новые принципы построения автоматически управляемых электромеханических устройств торможения измерительного (транспортного) колеса, и на их основе разработаны функциональные и электрические схемы семейства из пяти автоматически управляемых электромеханических устройств торможения измерительных (транспортных) колес, базирующихся на каскадах из двух электрических машин или на одиночных электрических машинах постоянного и переменного тока, разработаны базовые структуры систем автоматического управления ими и проведен сравнительный анализ их технических, энергетических и эксплуатационных характеристик [1]–[7].

Управление скольжением позволяет имитировать любые режимы торможения измерительного колеса, близкие к действительным режимам торможения транспортных колес авиашасси воздушных судов при посадке, что повышает достоверность измерений и тем самым обеспечивает безопасность посадки с надежностью, недоступной при измерениях всеми существующими в мире мобильными установками, основанными на способе торможения измерительного колеса с неизменным жестко заданным скольжением.

3. Важно отметить, что выбор способа электромеханического торможения создает предпосылки для осуществления гибкого и глубокого автоматического управления имитационными тормозными режимами измерительного (транспортного) колеса, приближая их к действительному характеру торможения колес любых типов воздушного транспорта, статистические данные о которых в достаточных объемах накоплены в авиаконструкторских бюро и на авиационных заводах за длительную историю создания авиационных автоматов торможения (антиюзовой авиационной автоматики). Таким образом, решение за-

дач обеспечения высоких показателей быстродействия и точности электромеханических устройств торможения измерительных (транспортных) колес, позволяющих повысить точность имитации характера тормозных режимов колес авиашасси, а значит, увеличить достоверность результатов измерений коэффициента сцепления покрытий, может быть полностью возложено на создание нового класса адаптивных систем автоматического управления торможением колес.

Коллективом кафедры САУ создан научный потенциал и накоплен опыт технического решения задач, связанных с разработкой систем автоматического управления электромеханическими объектами с многорезонансными нелинейными упругими деформациями, априорно неопределенным и сложным описанием, неполными измерениями, быстро и в широких пределах изменяющимися параметрами и внешними возмущениями. На кафедре разработан и получил признание подход к решению таких задач в рамках построения нового класса беспроисковых адаптивных систем управления нелинейными динамическими объектами с функционально-параметрической неопределенностью, законы адаптации и алгоритмы настройки которых синтезируются с привлечением функций так называемой нелинейной параметризации, выбираемых по условиям мажорирования неопределенных нелинейностей объектов [5], [8]–[12].

Построение нового класса адаптивных систем автоматического управления в приложении к разработанным электромеханическим устройствам торможения колес потребовало создания адекватных математических моделей устройств торможения транспортных колес, учитывающих реально проявляющиеся упругие свойства пневматической шины, которые вкуче с учетом «срывных» свойств изменения момента торможения на падающем участке характеристики сухого трения создают условия для возникновения при торможении упругого колеса фрикционных периодических режимов изменения (автоколебаний) скольжения и момента торможения, носящих скачкообразный характер. При этом при построении математических моделей динамики тормозящего колеса учитывается, что упругость пневматической шины является, вдобавок, причиной смещения максимального значения момента торможения, равного моменту «страгивания» при сухом трении, в область малых положительных (ненулевых) значений скольжения. Кроме того, создаваемые математические модели электромеханических устройств торможения должны учитывать и упругие свойства и зазоры трансмиссий, связывающих электромеханические двигатели со ступицами колес, которые также способствуют возникновению фрикционных упругих колебаний колеса, снижающих эффективность и даже нарушающих процесс его торможения.

Проведенные исследования показали, что построенные математические модели семейства электромеханических устройств торможения, учитывающие упругие и нелинейные свойства пневматической шины, проявляющиеся в «пятне» контакта колеса с покрытием, упругие свойства и зазоры механических трансмиссий и динамику электромагнитных процессов и выраженные системами нелинейных дифференциальных уравнений конечного порядка, характеризующихся неопределенностью параметров и нелинейных характеристик их правых частей, а также неполной измеримостью переменных состояния объектов, когда не все они доступны измерению с помощью датчиков, являются моделями, адекватными реальным динамическим свойствам рассматриваемого класса электро-

механических устройств торможения транспортных колес с пневматическими шинами. Тем самым, такие модели оправдывают применение для построения систем автоматического управления ими адаптивного подхода, кратко охарактеризованного выше и подробно изложенного в монографии [8].

4. Для семейства (из пяти видов) электромеханических устройств торможения построено семейство (из 15 вариантов) адаптивных систем автоматического управления, разработанных по трем основным функциональным схемам:

- прямая адаптивная система с эталонной моделью, адаптивным законом и алгоритмами его настройки с мажорирующими функциями и стационарным наблюдателем;
- непрямая адаптивная система с настраиваемой моделью, алгоритмами ее настройки с мажорирующими функциями и стационарным наблюдателем;
- комбинированная адаптивная система с эталонной и настраиваемой моделями, алгоритмами настройки с мажорирующими функциями и стационарным наблюдателем.

Исследования и сравнительный анализ работоспособности и эффективности построенных адаптивных систем методами математического моделирования и экспериментальные исследования их микроконтроллерных реализаций на физических макетах в условиях (10...20)-кратного изменения параметров объектов, показали, что комбинированная адаптивная система, объединяющая свойства прямой и непрямой адаптивных систем, обладает наилучшей эффективностью, особенно в условиях неполной измеримости объекта, так как в ней настраиваемая модель выполняет роль адаптивного наблюдателя, что уже улучшает работу алгоритмов адаптации в комбинированной системе в условиях изменяющихся параметров, по сравнению с прямой системой, в которой применяется стационарный наблюдатель. Укажем также на возможность построения в более общей случае комбинированной адаптивной системы, содержащей в дополнение к предыдущей структуре вспомогательный стационарный наблюдатель, который улучшает оценки настраиваемой модели (настраиваемого наблюдателя) и отметим, что на один из вариантов комбинированной адаптивной системы автоматического управления электромеханическим устройством торможения транспортных колес подана заявка на патент [13].

5. В СПбГЭТУ в сотрудничестве с холдинговой компанией «Созвездие Водолея» (г. Санкт-Петербург), ОАО «Ковровский электромеханический завод» (г. Ковров), холдинговой компанией «Ленинец» (г. Санкт-Петербург) и др. предприятиями – партнерами в период с 2003 по 2010 гг. были созданы макет (рис. 2), позволивший экспериментально на испытаниях в аэродромных условиях проверить эффективность принципиальных решений, а также опытные образцы семейства из четырех моделей буксируемых мобильных электромеханических комплексов измерения коэффициента сцепления, описываемых далее.



Рис. 2

Разработка описываемого семейства электромеханических комплексов непрерывного измерения коэффициента сцепления была создана на кафедре в 2003 г. на основе электромеханического устройства торможения, выполненного в виде двухмашинного электромеханического каскада взаимной нагрузки, состоящего из

двух встречно включенных электрических машин постоянного тока с независимым возбуждением, и в 2004 г. прошла аэродромные испытания (рис. 3).

В 2004 г. была создана вторая модель измерительного комплекса с двухмашинным каскадным электромеханическим устройством торможения, названная моделью АТТ-3 и прошедшая аэродромные испытания в 2005 г. (рис. 4).



Рис. 3



Рис. 4

В 2005 г. на основании результатов предварительных испытаний АТТ-3 было принято решение об изготовлении двух идентичных мобильных комплексов АТТ-3 с тем, чтобы выдвинуть их в заявительном порядке в МАК на проведение сертификационных испытаний для получения сертификата типа изделия с последующим лицензированием их серийного производства. Организацией – производителем и заявителем сертификационных испытаний стала научно-производственная компания «Созвездие», входящая в холдинговую компанию «Созвездие Водолея», осуществляющую финансовую поддержку проекта.



Рис. 5

В процессе подготовки окончательного варианта электромеханического комплекса АТТ-3 он был подвергнут в 2005 г. глубокой переработке, и новая, третья модель мобильного комплекса получила название АТТ-3М (рис. 5).

Были разработаны и переданы в МАК полные комплекты конструкторской и схемотехнической документации, а также алгоритмическое и специальное программное обеспечение, позволяющие полностью серийно воспроизвести типовую конструкцию изделия АТТ-3М

на указанном в сертификате предприятии – ОАО «Экспериментальный завод» холдинговой компании «Ленинец» (г. Санкт-Петербург).

Была также разработана в полном объеме и передана в МАК эксплуатационная документация на АТТ-3М, содержащая руководство по эксплуатации, техническое описание, паспорт и ведомость ЗИП, а также методики периодической метрологической поверки измерительного тракта мобильного комплекса АТТ-3М. Отметим кстати, что общий объем одного комплекта переданной в МАК документации на сертификацию типа изделия АТТ-3М составил более 700 листов чертежей, схем, рисунков и текстов.

В августе 2005 г. были изготовлены, полностью оснащены и отлажены два идентичных экземпляра изделия АТТ-3М и начаты их сертификационные испытания в полевых условиях на ВПП аэропорта «Пулково».

Сертификационные испытания АТТ-3М охватывали зимне-весенний период 2005–2006 гг. и проходили, в целом, успешно, однако в процессе испытаний АТТ-3М выяснилось, что максимальный диапазон регулирования скольжения, равный (0,05–1,0), который может быть реализован в рамках двухмашинного каскада постоянного тока, не востребован мировой практикой и не обуславливаются существующими требованиями МАК и ICAO (International Civil Aviation Organization). Поэтому комплекс АТТ-3М, представляющий несомненный научный интерес, на практике оказался функционально избыточным и неоправданно сложным.

В таких условиях проведение дальнейших работ по сертификации электромеханического двухдвигательного комплекса АТТ-3М, обеспечивающего избыточный диапазон регулирования скольжения ценой применения электрических машин постоянного тока, содержащих такие ненадежные в эксплуатации элементы конструкции, как щеточные узлы и коллекторы, было сочтено нецелесообразным, и было принято решение о разработке новой, четвертой, модели мобильного комплекса с электромеханическим устройством торможения, выполненным на основе одной синхронной электрической машины переменного тока с управляемым реостатным торможением.

6. Последняя, четвертая, модель, создание которой было завершено к 2008 г., получила название ИКС-1 (Измеритель коэффициента сцепления – 1). Она представляет собой комплекс, состоящий из следующих частей:

- 1) буксируемая электромеханическая тележка (БЭТ);
- 2) бортовой электрошкаф управления (ЭШУ);
- 3) компьютерный пульт управления и индикации (ПУИ);
- 4) переносный стенд для калибровки измерительной системы установки ИКС-1.

В 2009 г. были изготовлены три идентичных изделия ИКС-1, прошедшие в период 2009–2010 гг. сертификационные испытания перед Сертификационной комиссией МАК и получившие сертификат типа изделия, дающий право на организацию серийного изготовления (рис. 6). Типовая конструкция ИКС-1, утвержденная в сертификате, защищена патентом на полезную модель [14].



Рис. 6

Мобильный комплекс ИКС-1 является наиболее новой и последней по времени изготовления установкой такого назначения во всем мире, поэтому он удовлетворяет наиболее полному перечню международных требований, вырабатываемых, дополняемых и уточняемых ICAO для такого рода установок.

В таблице приведены основные технические характеристики установки ИКС-1.

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон измерения коэффициента сцепления (КС)	0...1,0
Значение проскальзывания измерительного колеса, %	10
Погрешность определения КС, не более	±0,01
Погрешность определения скорости при измерении КС, км/ч, не более	±1
Погрешность определения пройденного расстояния при измерении КС, км/ч, не более	±1
Время непрерывной работы	Не ограничено
Масса установки, кг	≤500
Скорость движения при измерении КС, км/ч:	65 ± 5
Скорость движения при транспортировке, км/ч:	До 130
Автомобиль-буксировщик	Дополнительное оборудование по ТЗ заказчика
Система подачи воды под измерительное колесо	
Обогреваемый контейнер для хранения	
Срок эксплуатации	5 лет

Механическая конструкция буксируемой электромеханической тележки ИКС-1 представлена на рис. 7.

7. Наиболее наукоемкими частями ИКС-1 являются электрошкаф управления и компьютерный пульт управления и индикации.

ЭШУ располагается в задней части БЭТ (рис. 8) и связан с ПУИ, находящимся в автомобиле-буксировщике, проводной или беспроводной связью. В ЭШУ расположены: драйвер IGBT; плата датчика тока; модуль зарядного устройства аккумулятора; плата управления с бортовым микроконтроллером; силовой транзистор IGBT; силовой трехфазный мостовой выпрямитель постоянного тока; гелевый аккумулятор; GPS-приемник; влагозащищенные соединительные разъемы. За пределы ЭШУ вынесена плата усилителя сигнала тензодатчика, которая находится в отдельном корпусе в непосредственной близости от тензодатчика.

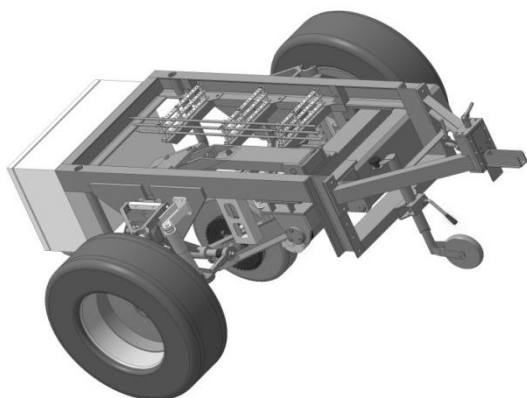


Рис. 7



Рис. 8

Трехфазный ток статора тормозного генератора выпрямляется по силовой трехфазной мостовой выпрямительной схеме. В цепь выпрямленного тока включен силовой ключ, выполненный на IGBT-транзисторе, который управляется сигналом, поступающим с платы драйвера IGBT. Плата драйвера IGBT соединена с платой управления и микроконтроллером С164.

Все процессы обработки сигналов и адаптивной системы управления скольжением, сбора и оцифровки всех данных с БЭТ, выдача информации в компьютерный пульт управления и индикации, управление силовой электроникой и другие функции выполняются на базе бортового микроконтроллера C 167 Modul, выполненного на одной плате с внешней памятью и периферией, расположенной в нижней части электрошкафа управления (рис. 8).

ПУИ, переносной компьютерный пульт оператора установки ИКС-1 (рис. 9), реализован на базе промышленного панельного компьютера и служит для дистанционного управления оператором процессами измерения, обеспечивает все функции автоматизированной информационно-управляющей системы мобильного комплекса как автоматизированного средства непрерывного измерения коэффициента сцепления покрытий. ПУИ выполняет:

- текущее измерение КС с точностью не более $\pm 0,01$;
- визуальную индикацию в процессе подготовки к проведению измерения КС и во время измерения;
- измерение, визуальную индикацию и документальную регистрацию осредненных по заданному участку покрытия значений КС, полученных при неоднократном выполнении измерений в одинаковых условиях (места, состояния покрытия, скорости измерения) с погрешностью не более $\pm 0,02$ во всем диапазоне измерений;
- измерение, визуальную индикацию и документальную регистрацию текущих значений скорости движения комплекса с погрешностью не более ± 1 км/ч;
- измерение и документальную регистрацию пройденного расстояния при измерении коэффициента сцепления в диапазоне от 0 до 10 км с погрешностью не более ± 1 % во всем диапазоне измерений;
- визуальную индикацию электронной карты аэродрома и вычисление и регистрацию на ней местоположения мобильного комплекса с отклонением не более ± 5 м;
- передачу результатов измерения и обработанной информации с помощью GSM-модема в диспетчерскую службу аэродрома непосредственно в процессе измерения и с регистрацией текущего времени;
- регистрацию, архивирование и возможность воспроизведения всего объема результатов измерения коэффициента сцепления и обработанной информации.

Задаются следующие данные:

- дата, номер месяца, две цифры года проведения измерений (определяется автоматически);
- время суток в часах и минутах проведения измерений (определяется автоматически);
- обозначение наименования элемента летного поля аэродрома, длины участка покрытия ВПП, на котором намечается провести измерение, и его номера (информация о месте проведения измерения отображается также на электронной карте аэропорта);
- код лица, выполняющего измерение.

Формирование и документирование экспертной информации, необходимой для принятия диспетчером аэродрома решения о безопасной посадке подлетающего воздушного судна.

Компьютерный переносной пульт управления и индикации выполнен на базе промышленного панельного компьютера ТРС 1260Н фирмы Advantech. Алгоритмическое и программное обеспечение ПУИ защищено десятью документами об официальной регистрации (см., например, [15], [16]).

На рис. 10 показано основное окно, которое появляется на сенсорном цветном экране ПУИ при включении электропитания установки и является виртуальной панелью, содержащей все органы управления процессом измерений и визуализации его результатов.



Рис. 9

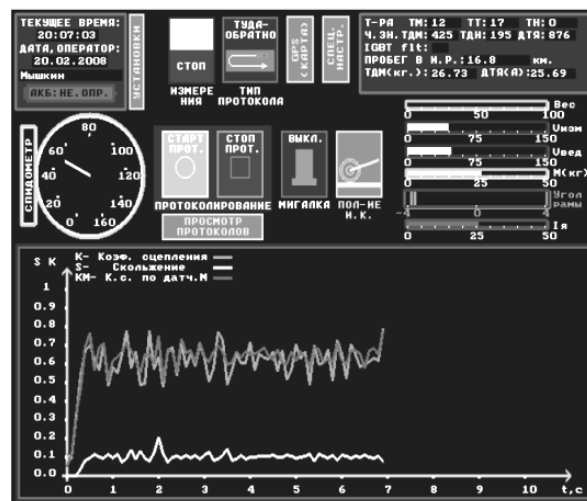


Рис. 10

8. Неотъемлемой частью любого мобильного комплекса является переносной калибровочный стенд для периодического и оперативного метрологического обслуживания комплекса в аэродромных условиях. Стенд предназначен для калибровки тензометрической системы измерения силы торможения (трения) измерительного колеса и измерительно-вычислительного тракта мобильного комплекса и представляет собой подвижную платформу с весами, на которые устанавливается измерительное колесо комплекса, снабженную двумя тензометрическими датчиками измерения касательной силы трения, приложенной к «пятну» контакта измерительного колеса с платформой стенда, и нормальной силы прижатия шины колеса к поверхности платформы, а также двумя цифровыми индикаторами V100 (рис. 11).

Разработана и программно реализована автоматизированная, выполняемая под управлением компьютера ПУИ методика калибровки измерительной системы мобильного комплекса ИКС-1, выполняемая в аэродромных условиях, по результатам которой компьютер заполняет протокол калибровки (рис. 12), а затем автоматически, по нажатию кнопки оператором, корректируется измерительный тракт комплекса.

9. Одной из важнейших задач создания новых средств обеспечения безопасности посадки воздушного транспорта является разработка автоматизированного электромеханического испытательного стенда с автоматически управляемым барабанным имитатором «бегущей дорожки», позволяющим заменить многие виды дорогостоящих и времязатратных аэродромных испытаний создаваемого нового поколения мобильных комплексов полноценными лабораторными испытаниями.



Рис. 11

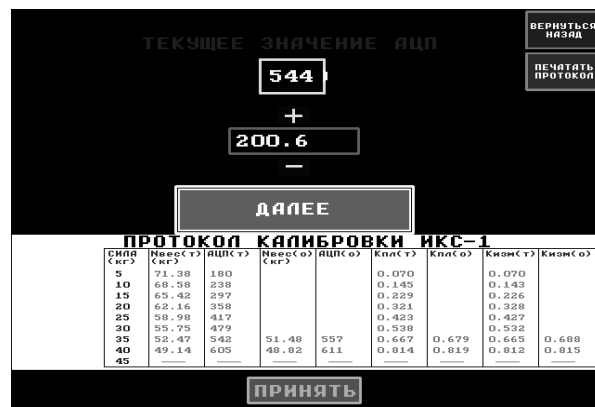


Рис. 12

Оснащение создаваемого стенда сменными металлическими барабанами с различной обработкой поверхностей позволяет имитировать участки измерений со строго постоянными значениями коэффициентов сцепления от 0,05 (полированная поверхность металла, эквивалентная поверхности взлетно-посадочной полосы, покрытой таящим льдом) до 0,6...0,9 (поверхность металла с грубой насечкой, эквивалентная бетонному покрытию взлетно-посадочной полосы), что не представляется возможным в аэродромных условиях.

Таким образом, создаваемый испытательный стенд открывает перспективы проведения широкого спектра невозможных ранее и не проводимых во всем мире экспериментальных исследований, целью которых является выяснение влияния изменения в широком диапазоне значений скольжения и различных режимов торможения измерительного колеса, в том числе имеющих срывной характер, возникающий при проявлении эффекта Штрибека, а также влияния изменения скорости буксировки мобильного комплекса на точность и достоверность результатов измерений. Такие исследования позволят обоснованно судить о сопоставимости результатов измерений тормозных режимов измерительных колес с действительными режимами торможения колес авиашасси воздушных судов при посадке воздушных судов в экстремальных погодных условиях.

Создание и введение в эксплуатацию такого стенда позволит проводить оперативно и экономно в лабораторных условиях почти все дорогостоящие (в аэродромных условиях) отладочные, предварительные, приемо-сдаточные, квалификационные и сертификационные испытания макетов, опытных образцов и установочных серий разрабатываемых и модифицируемых мобильных электромеханических комплексов измерения коэффициента сцепления.

На рис. 13 показана 3D-модель конструкции стенда с размещенным на нем испытываемым мобильным комплексом.

Разработан полный комплект конструкторской документации на изготовление стенда, состоящий более чем из 400 листов чертежей и спецификаций. Спроектирована и изготовлена схемотехническая документация на создание электрошкафа стенда, управляющего автоматизированным электроприводом барабана стенда с бортовым микроконтроллером С 164 СІ. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение компьютерного пульта управления, индикации и автоматизации процессов стендовых испытаний, выполненного на базе промышленного сенсорного панельного компьютера Advantech TPC-1261.

На рис. 14 изображен электрический шкаф управления электроприводом станда со встроенным компьютерным пультом. Изготовлен опытный образец станда, размещенный в учебно-научной лаборатории кафедры САУ «Мехатронные комплексы подвижных объектов и установки аэродромного обслуживания».

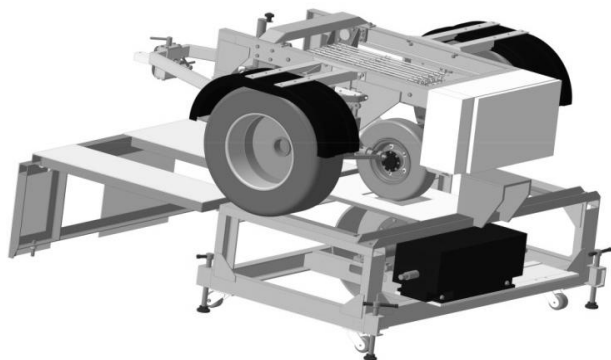


Рис. 13



Рис. 14

На рис. 15 показан мобильный комплекс ИКС-1, расположенный на испытательном стенде, и видно, как оператор испытаний работает одновременно с двумя компьютерными пультами управления, индикации и автоматизации: испытательного станда и мобильного комплекса ИКС-1.



Рис. 15

При проектировании и разработке станда решены также вопросы автоматизации процесса испытаний и построения адаптивной системы автоматического управления стандом, подробно изложенные в [17], [18].

10. На основе типовых «Сертификационных требований (базиса)» и «Программы сертификационных испытаний», разработанных в МАК и ГПИ НИИ «Аэропроект» (Москва) для российских и зарубежных производителей мобильных комплексов измерения коэффициента сцепления в аэродромных условиях на кафедре разработан проект методики государственных сертификационных полунатурных испытаний создаваемых мобильных комплексов в лабораторных условиях, реализуемой на базе создаваемого автоматизированного электромеханического испытательного станда с барабанным имитатором «бегущей дорожки».

К настоящему времени на кафедре САУ СПбГЭТУ выполнен законченный цикл работ по созданию нового поколения измерительных мобильных комплексов, состоящих из электромеханического устройства торможения измерительного колеса с адаптивной системой управления процессами торможения, реализуемого на базе синхронной электрической машины переменного тока, средств силовой и управляющей электроники в виде бор-

тового электрошкафа управления, автоматизированной информационно-управляющей системы, реализованной на базе промышленного компьютера ТРС 1260Н в виде переносного компьютерного пульта управления и индикации, механической конструкции, реализованной в виде буксируемой установки, выполненной на базе переднего моста шасси серийного автомобиля «Нива-Chevrolet», и средств метрологического обслуживания мобильного комплекса как аэродромного измерительного оборудования, реализованного в виде переносного калибровочного стенда с программным управлением.

Совместно с холдинговой компанией «Созвездие Водолея» созданы три идентичных опытных образца одной из модификаций мобильного комплекса – модели ИКС-1, проведены государственные сертификационные летние и зимние испытания, по результатам которых выданы сертификат типа № 483 Межгосударственным авиационным комитетом (25.06.2009) и лицензия № 005574-ИР от 10.06.2009 на серийный выпуск Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии Министерства промышленности и торговли РФ, а также получено Регистрационное удостоверение № 224-06-2009 о включении комплекса, в государственный «Перечень специальных средств измерений гражданской авиации РФ» Федерального агентства воздушного транспорта «РОСАВИАЦИЯ» Министерства транспорта РФ.

Разработаны технические требования, план-график и технико-экономическое обоснование мероприятий по созданию на базе ОАО «Ковровский электромеханический завод» высокотехнологичного производства нового поколения буксируемых автоматизированных электромеханических комплексов непрерывного измерения коэффициента сцепления аэродромных покрытий и стендового оборудования для проведения приемосдаточных, сертификационных и метрологических испытаний в лабораторных и аэродромных условиях. Указанные документы согласованы со всеми службами ОАО «Ковровский электромеханический завод», утверждены его генеральным директором и включаются в план мероприятий завода на 2013–2014 гг.

Результаты работы получены в рамках выполнения проекта по федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная мобильная электромеханическая установка нового поколения для измерения фрикционных свойств взлетно-посадочной полосы / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, А. В. Низовой, А. В. Путов // Авиакосмическое приборостроение. 2004. № 5. С. 27–37.
2. Мобильная электромеханическая установка нового поколения для оперативного контроля аэродромных покрытий / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, В. Е. Хильченко, А. В. Путов // Мехатроника, автоматизация и управление. 2007. № 10. С. 25–30.
3. Автоматически управляемая буксируемая электромеханическая установка для измерения коэффициента сцепления аэродромных и автодорожных покрытий ИКС-1 / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, А. В. Путов, Т. Л. Русяева // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 9. С. 67–74.
4. Автоматически управляемые электромеханические устройства торможения транспортных колес / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, А. В. Путов, Я. Н. Сколяров // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 8. С. 61–68.
5. Адаптивная система управления торможением электромеханических движителей транспортных колес с пневматическими шинами / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, А. В. Путов, Е. В. Друян // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 9. С. 73–81.
6. Control systems of asynchronous generator excitation with variable rotation speed / Sheludko V. N., Putov A. V., Ignatiev K. V., Druian E. V. // Proc. of the IEEE North West Russia Section. 2011. № 2. P. 24–27.

7. Автоматизированные мобильные комплексы обеспечения безопасности посадки воздушных судов: Учеб. пособие / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, А. В. Путов и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. 120 с.
8. Шелудько В. Н., Путов В. В. Адаптивные и модальные системы управления многомассовыми нелинейными упругими механическими объектами. СПб.: ООО «Техномедиа»: Элмор. 2007. 244 с.
9. Шелудько В. Н., Путов В. В. Адаптивные системы управления нелинейными механическими объектами с многорезонансными упругими деформациями // Мехатроника. 2001. № 3. С. 11–19.
10. Шелудько В. Н., Путов В. В., Козлов Ю. К. Прямые и не прямые адаптивные системы с сигнальной настройкой, построенные на основе метода мажорирующих функций // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Сер. «Автоматизация и управление». 2005. № 1. С. 3–9.
11. Семейство аналитических и интеллектуальных адаптивных систем управления нелинейными упругими электромеханическими объектами / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, В. В. Лебедев и др. // Мехатроника, автоматизация и управление. 2007. № 10. С. 16–25.
12. Шелудько В. Н., Путов В. В. Системы управления многостепенными механическими объектами с упругими деформациями: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. 166 с.
13. Пат. РФ (заяв. от 08.10.2012) / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, А. В. Путов, В. В. Лебедев. Система управления электромеханическим устройством торможения транспортных колес.
14. Пат. РФ № 118753 / Устройство измерения коэффициента сцепления транспортных колес с аэродромными и автодорожными покрытиями. В. Н. Шелудько, В. В. Путов, А. В. Путов // от 27.07.2012.
15. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010615788 / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, А. В. Путов, Е. В. Друян. Программа управления испытательным стендом для измерительных мобильных установок аэродромного обслуживания; Заяв. № 2010614032 от 07.07.2010. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 07.09.2010.
16. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2012617098 / В. В. Путов, В. Н. Шелудько, А. В. Путов и др. Программа для калибровки и проверки платы тензодатчика измерителя коэффициента сцепления; Заявка № 2012615049 от 19.06.2012. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 08.08.2012.
17. Испытательный стенд для нового поколения буксируемых электромеханических установок аэродромного обслуживания / В. Н. Шелудько, Е. В. Друян, А. В. Путов, В. В. Путов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. Вып. 4. С. 22–28.
18. Вопросы управления электромеханическим испытательным комплексом с барабанным имитатором движения для электромеханических движителей колес транспорта / В. Н. Шелудько, В. В. Путов, Е. В. Друян, А. В. Путов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. Вып. 4. С. 44–59.

V. N. Sheludko

A NEW GENERATION OF AUTOMATED SYSTEMS FOR MONITORING AND TESTING TO ENSURE THE SAFETY OF AIRCRAFT LANDING

This paper deals with a new generation of automated mobile electromechanical systems continuously measuring friction coefficient airfield pavements, based on a new principle of braking when rolling measuring wheel with an automatically operated sliding undertaken electromechanical devices braking controller based on electric cars either AC or DC and stand equipment for all kinds of tests in their design and operation.

Safety of aircraft landing, automatically controlled electromechanical brake towed mobile, electromechanical systems measure the coefficient of friction, stands for testing of mobile systems in the laboratory and airfield conditions