



УДК 004.942

Компьютерная поддержка решений пилота на этапах взлета и посадки

Мельничук А.В.*

МАИ, Москва, Россия
alexander.melnichyuk@gmail.com

Судаков В.А.**

МАИ, Москва, Россия,
ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, Москва, Россия,
sudakov@ws-dss.com

Предложено использование технологии экспертной системы в программном приложении для компьютерной поддержки решений пилота на этапах взлёта и посадки. Разработана модульная архитектура для процесса определения параметров взлета и посадки. На примере конкретного типа российского воздушного судна разработан прототип клиент-серверного программного приложения для электронного полётного планшета.

Ключевые слова: планшетный компьютер, воздушное судно, взлетно-посадочные характеристики.

Введение

Несмотря на то, что взлет и посадка являются самыми короткими фазами полета, они являются наиболее сложными и критичными с точки зрения безопасности полетов. В то же время, расчет взлетно-посадочных характеристик воздушного судна имеет большое значение для обеспечения безопасности выполнения взлёта и посадки. Основной целью

Для цитаты:

Мельничук А.В., Судаков В.А. Компьютерная поддержка решений пилота на этапах взлета и посадки // Моделирование и анализ данных. 2019. Том 09. № 4. С. 112–120. doi: 10.17759/mda.2019090409

***Мельничук Александр Владимирович**, аспирант, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет Москва, Россия. E-mail: alexander.melnichyuk@gmail.com
****Судаков Владимир Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), Москва, Россия. E-mail: sudakov@ws-dss.com



этих расчетов является определение максимально допустимой взлетной массы летательного аппарата, скоростей на взлёте (V_1 – скорость принятия решения, т.е. максимальная скорость, до которой взлет может быть безопасно прекращен; V_R – скорость подъема передней стойки шасси; V_2 – безопасная скорость взлета) и посадки (V_{REF} – скорость захода на посадку), максимальной посадочной массы самолета.

Зависимости взлётно-посадочных характеристик представлены в руководстве по лётной эксплуатации воздушного судна (РЛЭ) в виде номограмм, основанных на математической модели конкретной модификации самолета и скорректированных в соответствии с результатами летных испытаний.

Значения взлетно-посадочных характеристик зависят от многих эксплуатационных условий: фактической взлетной массы самолета, температуры наружного воздуха, давления, характеристик взлетно-посадочной полосы (заявленных длин, уклона, состояния ее поверхности), препятствий в районе аэродрома, скорости и направления ветра. Значительное влияние оказывают также управляющие действия пилота, регулирующего такие параметры самолета, как тяга двигателя, положение закрылков и др. Также в расчетах могут учитываться ограничения, обусловленные наличием отложенных дефектов и отклонений конфигурации самолета (согласно перечню MEL – Minimum Equipment List и CDL – Configuration Deviation List) или определяемые политикой эксплуатанта.

В настоящее время для расчета взлетно-посадочных характеристик широко используются специализированные программные приложения (такие как «Boeing Onboard Performance Tool» для самолетов производства корпорации Boeing и «FlySmart+» для самолетов Airbus). Эти приложения предназначены для использования в качестве программного обеспечения электронных полётных планшетов (EFB) на базе планшетных компьютеров.

Тем не менее, эти программные решения не позволяют эксплуатантам ВС использовать в определении взлётно-посадочных характеристик собственные правила в соответствии с их политикой.

В свою очередь, в настоящее время для самолётов российского производства аналогичных программных приложений нет. Пилоты российских самолетов определяют взлетно-посадочные характеристики вручную с помощью специальных номограмм или таблиц, представленных в РЛЭ. Выполнение расчетов указанным способом является длительным процессом, требующим повышенного внимания, а использование неверных результатов расчета может привести к авиационному происшествию или катастрофе.

Таким образом, разработка общих принципов построения специальной системы расчета взлётно-посадочных характеристик воздушных судов является актуальной научно-технической задачей [1–2].

Научная новизна исследования заключается в использовании технологии экспертных систем, обеспечивающей гибкость в определении взлетно-посадочных характеристик за счет возможности применения специальных ограничений в расчетных результатах в соответствии с правилами, основанными на MEL, CDL или политике эксплуатанта.

Для управления правилами в экспертной системе предлагается создание специального языка описания знаний. Такой подход позволит операторам с легкостью создавать правила и заполнять базу знаний экспертной системы без необходимости внесения изменений в программный код.

Постановка задачи

Система расчета эксплуатационных характеристик летательных аппаратов должна соответствовать требованиям к программному обеспечению EFB, изложенным в инструктивном материале ИКАО Doc 10020 [3]. Опыт использования такого программного обеспечения для расчетов взлетно-посадочных характеристик самолетов иностранного производства указывает на ряд ошибок, связанных с вводом и интерпретацией данных. Поэтому для снижения риска ошибок необходимо учитывать принципы инструктивного материала ИКАО при проектировании графического пользовательского интерфейса системы.

Разрабатываемая система состоит из блоков, показанных на рисунке 1.

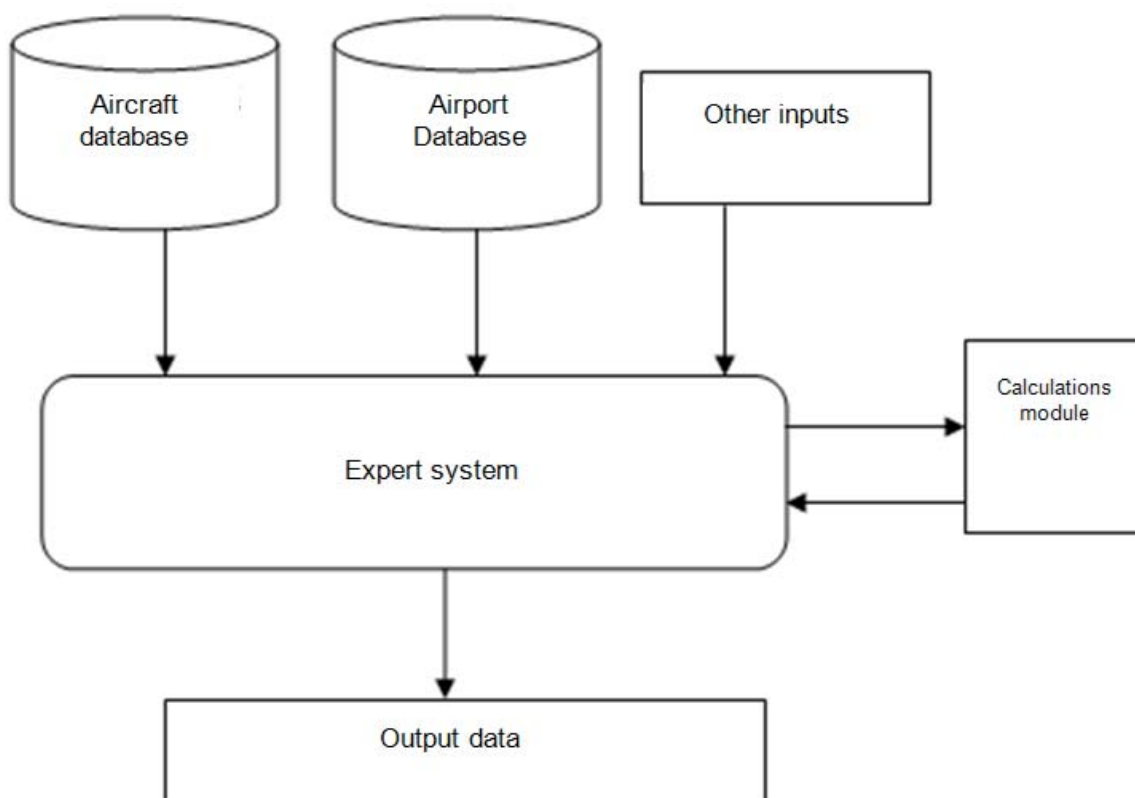


Рис. 1. Архитектура процесса расчета взлётно-посадочных характеристик.

Разделение системы на блоки необходимо для обеспечения ее гибкости и расширяемости, позволяющей учитывать специфику различных типов летательных аппаратов.

Заполнение расчетного модуля может осуществляться данными по заранее рассчитанным таблицам взлётно-посадочных характеристик для конкретного воздушного судна, либо по оцифрованным номограммам из РЛЭ.

Для заполнения базы данных аэродромов используются официальные источники аэронавигационной информации.

Фрагмент логической структуры базы данных аэродромов показан на рисунке 2. Таблица «AirportData» включает в себя кортежи кодов аэропортов ИКАО, названия аэропортов и их высоты. Таблица «RunwayData» включает в себя кортежи, связанные с характеристиками взлетно-посадочных полос: их идентификаторы, заявленные дистанции и значения уклонов. Таблица «ObstaclesData» включает в себя кортежи идентификаторов

препятствий, их типы, расстояние от торца взлетно-посадочной полосы, значения боковых смещений и высот.

Указанная база данных подвержена необходимости регулярных обновлений. Её актуальность, целостность, точность и качество имеют решающее значение в процессе вычислений взлётно-посадочных характеристик самолётов.

База знаний экспертной системы содержит правила, описывающие ограничения, определяемые эксплуатантом и влияющие на взлетно-посадочные характеристики.

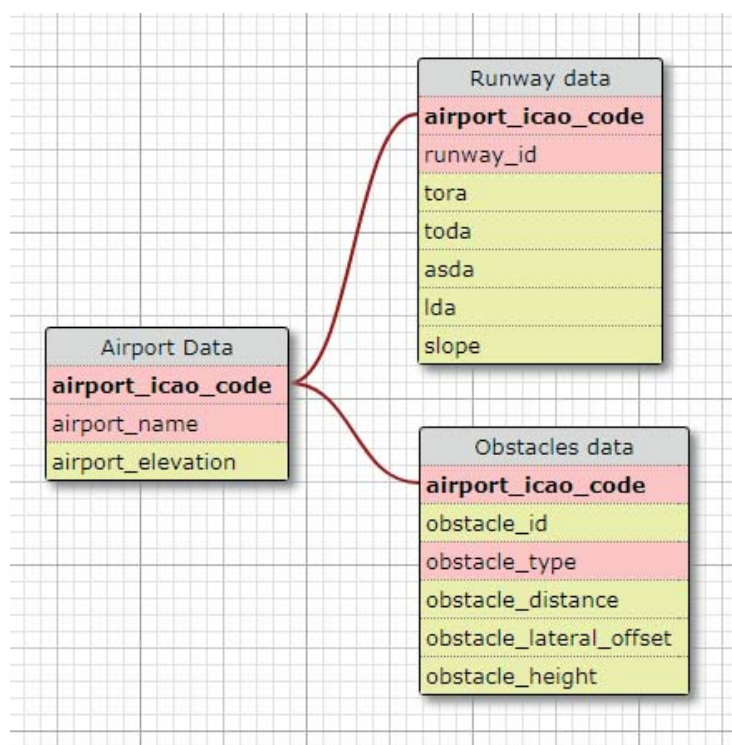


Рис. 2. Фрагмент структуры базы данных аэродромов.

Задача выбора платформы efb

Согласно документу ICAODoc 10020 [3], оборудование EFB делится на 2 класса: портативное и установленное (т.е. являющееся частью конфигурации ВС). Аппаратным обеспечением EFB портативного класса является электронное устройство, представляющее собой планшетный компьютер.

Планшетные компьютеры стали широко использоваться в авиации в качестве портативных устройств EFB по причине их более низкой стоимости (по сравнению с установленными EFB), технология применения портативных EFB не ограничивается использованием только в кабине пилотов, это оборудование одобрено авиационными властями. В настоящее время на рынке представлено большое количество различных моделей планшетных компьютеров, которые могут быть использованы в качестве EFB. С развитием этого рынка и нормативно-правовой базы, регулирующей утверждение и использование планшетных компьютеров в авиации в качестве EFB, эксплуатанты воздушных судов сталкиваются с проблемой выбора наиболее рациональной модели устройства для них.

Задача выбора рациональной модели планшетного компьютера рассматривалась в работах [4] и [5].

С учетом существующего разнообразия электронных планшетов, а также для обеспечения работы программного обеспечения на отечественной элементной базе с целью минимизации зависимости от зарубежных производителей, основной целью является создание универсальной системы расчета летно-технических характеристик без привязки к конкретной аппаратной платформе.

Достижение поставленной цели возможно как путем адаптации программно-алгоритмического прототипа системы к существующим платформам (что является простой технической задачей), так и путем разработки с использованием универсальных систем программирования, переводящих код для соответствующих виртуальных машин, что обеспечивает возможность использования системы на всем многообразии существующих устройств, без необходимости разработки индивидуальной версии для каждого из них [6–8].

Результаты

Поскольку первым этапом разработки программного приложения является задача создания программно-алгоритмического прототипа, выбор исходной аппаратной платформы и операционной системы не является критичным. Поэтому для упрощения тестирования разработанного прототипа и возможности быстрой адаптации к другим платформам за счет простоты синтаксиса языка, его разработка осуществляется в среде программирования Xcode с использованием языка Swift.

На рисунке 3 показан интерфейс прототипа программного обеспечения.

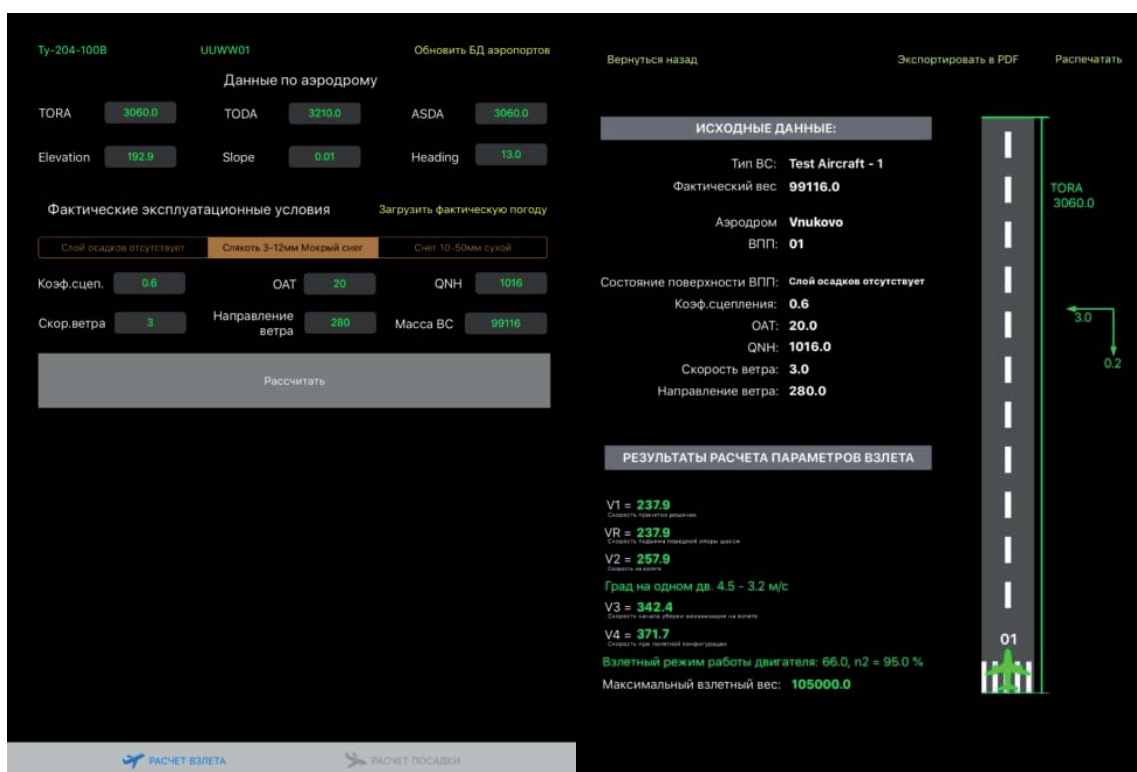


Рис. 3. Интерфейс прототипа программного приложения.

Для автоматизации расчетов были оцифрованы номограммы и построены их математические модели. Например, в соответствии с построенной математической моделью взлетная масса, ограниченная нормированным градиентом набора высоты, представлена в виде функции:



$$m_{TO} = f(T, H_{aer}),$$

где T – температура воздуха на аэродроме, H_{aer} – высота аэродрома, соответствующая фактическому барометрическому давлению на аэродроме.

В зависимости от значений, которые принимают параметры T и H_{aer} , взлетная масса, ограниченная набором высоты, может быть определена 12 различными способами. Например, если $15 \leq T \leq 20$ и $1800 \leq H_{aer} \leq 2000$, то M_{TO} определяется в соответствии с формулой:

$$m_{TO} = (4-0,2T)[(118061-8,48485H_{aer}) - (119430-10,596H_{aer})] + (119430-10,596H_{aer}).$$

Для базы данных характеристик аэропортов используется информация из AIP (Aeronautical Information Publications, Сборник Аэронавигационной Информации). AIP издаётся государством или с его ведома и содержит необходимую для безопасного самолётовождения аэронавигационную информацию.

Заключение

Использование технологии экспертных систем в разработанном программном обеспечении обеспечивает гибкость в определении взлетно-посадочных характеристик и упрощает процесс наполнения базы знаний правилами без необходимости внесения изменений в программный код.

Практическая польза предлагаемой системы заключается в повышении эффективности и безопасности эксплуатации парка российских воздушных судов и их конкурентоспособности за счет предоставления предлагаемого программного обеспечения в качестве сопутствующей услуги, совершенствующей технологию лётной эксплуатации.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ проект № 18-00-00012 (18-00-00011) КОМФИ.

Литература

1. Мельничук А.В., Судаков В.А. Предпосылки создания системы автоматизированного расчёта взлетно-посадочных характеристик воздушного судна // Гагаринские чтения – 2016: XLII Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов: В 4 т. М.: Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), 2016. – С. 428–429.
2. Мельничук А.В., Марценюк Е.А. Предпосылки создания ЭС для определения требуемых характеристик процесса взлета/посадки ВС в зависимости от погодных условий и конкретных параметров взлетно-посадочной полосы // 16-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2017»: Сборник тезисов докладов, Москва: Типография «Люксор», 2017. – С. 174–175.
3. ICAODoc 10020 «Руководство по электронным полетным планшетам (EFB)» – 2016 // [электронный ресурс] – Режим доступа – URL:<http://dspk.cs.gkovd.ru/library/viewitem.php?id=1082> (дата обращения 20.09.19).
4. Мельничук А.В., Марценюк Е.А. Предпосылки создания ЭС для выбора электронного планшета электронной информационной системы EFB для летного экипажа воздушного судна // Международная молодёжная научная конференция «XXXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых)»: Материалы конференции. Сборник докладов, в 4 т. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2017. – Т.2. – С. 781–784.



5. Сыпало К.И., Нестеров В.А., Дутов А.В., Судаков В.А. Нечеткие области предпочтений и их применение в задаче выбора электронного планшета летчика // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2018. № 2. С. 60–68.
6. Мельничук А.В., Нестеров В.А., Судаков В.А., Сыпало К.И. Разработка экспертной системы электронного планшета летчика (EFB) для определения рациональных характеристик процессов взлета и посадки воздушных судов // 11-я международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2018): Труды конференции, в 3 т. – Москва: ИПУ РАН, 2018. – Т.2. – С. 310–316.
7. Мельничук А.В., Нестеров В.А., Судаков В.А., Сыпало К.И. Разработка приложения для определения рациональных характеристик процессов взлета и посадки воздушных судов с применением экспертной системы // Ежеквартальный научный журнал «Электронные информационные системы». – Москва: АО «НТЦ ЭЛИНС», 2019. № 1 (20). – С. 63–72.
8. Мельничук А.В., Нестеров В.А., Судаков В.А., Сыпало К.И. Разработка программного приложения планшетного компьютера для определения параметров взлета и посадки воздушных судов // Труды XIII Всероссийского совещания по проблемам управления. – С. 940–945.



Decision Support for Pilot at Take-Off and Landing Stages

Melnichyuk A.V.*

Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
alexander.melnichyuk@gmail.com

Sudakov V.A.**

Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia
Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia
sudakov@ws-dss.com

The use of expert system technology in a software application for decision support of pilot decisions at take-off and landing stages is proposed. Modular architecture has been developed for the process of determining take-off and landing parameters. Using a specific type of Russian aircraft as an example, a prototype client-server software application for an electronic flight tablet has been developed.

Keywords: tablet computer, aircraft, takeoff and landing characteristics.

Funding

This work was supported by grant RFBR No 18–00–00012 (18–00–00011) KOMFI.

References

1. Melnichyuk A.V., Sudakov V.A. Predposylki sozdaniya sistemy avtomatizirovannogo rashjota vzletno-posadochnyh harakteristik vozdušnogo sudna // Gagarinskie chteniya – 2016: XLII Mezhdunarodnaja molodjozhnaja nauchnaja konferencija: Sbornik tezisov dokladov: V 4 t. M.: Moskovskij aviacionnyj institut (Nacional’nyj issledovatel’skij universitet), 2016. – S.428–429.
2. Melnichyuk A.V., Marcenjuk E.A. Predposylki sozdaniya JeS dlja opredelenija trebuemyh harakteristik processa vzleta / posadki VS v zavisimosti ot pogodnyh uslovij i konkretnyh parametrov vzletno-posadochnoj polosy // 16-ja Mezhdunarodnaja konferencija «Aviacija i kosmonavtika – 2017»: Sbornik tezisov dokladov, Moskva: Tipografija «Ljuksor», 2017. – S. 174–175.
3. ICAO Doc 10020 «Rukovodstvo po jelektronnym poletnym planshetam (EFB)» – 2016 // [jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa – URL: <http://dspk.cs.gkovd.ru/library/viewitem.php?id=1082> (data obrashhenija 20.09.19).

For citation:

Melnichyuk A.V., Sudakov V.A. Decision Support for Pilot at Take-Off and Landing Stages. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2019. Vol. 09, no. 4, pp. 112–120. doi: 10.17759/mda.2019090409 (In Russ., abstr. in Engl.)

***Melnichyuk Alexander Vladimirovich**, graduate student, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia. E-mail: alexander.melnichyuk@gmail.com

****Sudakov Vladimir Anatolievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Leading Researcher, Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences), Moscow, Russia. E-mail: sudakov@ws-dss.com



4. Melnichyuk A.V., Marcenjuk E.A. Predposylki sozdaniya JeS dlja vybora jelektronnogo plansheta jelektronnoj informacionnoj sistemy EFB dlja letnogo jekipazha vozdušnogo sudna // Mezhdunarodnaja molodezhnaja nauchnaja konferencija «XXXIII Tupolevskie chtenija (shkola molodyh uchenyh)»: Materialy konferencii. Sbornik dokladov, v 4 t. – Kazan': Izd-vo Akademii nauk RT, 2017. – T.2. – S. 781–784.
5. Sypalo K.I., Nesterov V.A., Dutov A.V., Sudakov V.A. Nechetkie oblasti predpochtenejiih primenenie v zadache vybora jelektronnogo plansheta letchika // Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Teorija i sistemy upravlenija. 2018. № 2. S. 60–68.
6. Melnichyuk A.V., Nesterov V.A., Sudakov V.A., Sypalo K.I. Razrabotka jekspertnoj sistemy jelektronnogo plansheta letchika (EFB) dlja opredelenija racional'nyh karakteristik processov vzleta i posadki vozdušnyh sudov // 11-ja mezhdunarodnoj konferencii «Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem» (MLSD'2018): Trudy konferencii, v 3 t. – Moskva: IPU RAN, 2018. – T.2. – S. 310–316.
7. Melnichyuk A.V., Nesterov V.A., Sudakov V.A., Sypalo K.I. Razrabotka prilozhenija dlja opredelenija racional'nyh karakteristik processov vzleta i posadki vozdušnyh sudov s primeneniem jekspertnoj sistemy // Ezhekvartal'nyj nauchnyj zhurnal «Jelektronnye informacionnye sistemy». – Moskva: AO «NTC JeLINS», 2019. № 1 (20). S.63–72.
8. Melnichyuk A.V., Nesterov V.A., Sudakov V.A., Sypalo K.I. Razrabotka programmogo prilozhenija planshetnogo komp'jutera dlja opredelenija parametrov vzleta i posadki vozdušnyh sudov // Trudy XIII Vserossijskogo soveshhanija po problemam upravlenija. С. 940-945.