

004.415.25

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПЛАНШЕТНОГО КОМПЬЮТЕРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

**А.В. Мельничук**

*Московский Авиационный Институт (Национальный Исследовательский Университет)*  
Россия, 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4  
E-mail: [alexander.melnichyuk@gmail.com](mailto:alexander.melnichyuk@gmail.com)

**В.А. Нестеров**

*Московский Авиационный Институт (Национальный Исследовательский Университет)*  
Россия, 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4  
E-mail: [mai@mai.ru](mailto:mai@mai.ru)

**В.А. Судаков**

*Институт прикладной математики имени М. В. Келдыша Российской академии наук*  
Россия, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4  
E-mail: [sudakov@ws-dss.com](mailto:sudakov@ws-dss.com)

**К.И. Сыпало**

*Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского*  
Россия, 140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Жуковского, 1  
E-mail: [info@tsagi.ru](mailto:info@tsagi.ru)

**Ключевые слова:** экспертная система, взлетно-посадочные характеристики, электронный полетный планшет, безопасность полетов, Electronic Flight Bag.

**Аннотация:** Для автоматизированного определения рациональных взлетно-посадочных характеристик воздушных судов предложено использование принципов экспертной системы, основанной на правилах. Предложена архитектура процесса расчета взлетно-посадочных характеристик. Показана разработка прототипа программного приложения на примере воздушного судна семейства Ту-204. Выполнена оцифровка номограмм зависимостей взлетно-посадочных характеристик воздушного судна. По оцифрованным номограммам построены математические модели зависимостей взлетно-посадочных характеристик для автоматизации расчета параметров взлета и посадки воздушного судна.

## 1. Введение

Этапы взлета и посадки составляют меньшую часть полета воздушного судна (ВС), но являются наиболее сложными и имеют критическое значение с точки зрения безопасности полетов.

Для обеспечения безопасного выполнения взлета и посадки критически важное значение имеет расчет взлетно-посадочных характеристик (ВПХ), осуществляемый перед каждым полетом.

Основные параметры, определяемые при расчете ВПХ:

- максимальная взлетная масса ВС;
- скорости на взлете и посадке ( $V_1$  – скорость принятия решения,  $V_R$  – скорость подъема передней опоры шасси,  $V_2$  – безопасная скорость взлета,  $V_{REF}$  – скорость захода на посадку);
- посадочная масса.

Значения ВПХ зависят от ряда фактических эксплуатационных условий: взлетной массы ВС, температуры окружающего воздуха, давления на аэродроме, уклона и состояния взлетно-посадочной полосы, наличия препятствий по направлению взлета, скорости и направления ветра. Также значительное влияние на ВПХ оказывают управляющие воздействия пилота путем регулирования таких параметров ВС, как тяга двигателя, положение механизации крыла, режим торможения.

В настоящее время широкое распространение для их расчета получили специализированные программные приложения для электронного планшета летчика (Electronic Flight Bag - EFB), в качестве которых используются планшетные компьютеры.

Использование вышеуказанных программных приложений позволяет ускорить процесс расчета ВПХ, а их вычислительные мощности позволяют осуществлять расчеты ВПХ для всех возможных положений механизации крыла и режимов тяги при взлете и выбрать рациональные их значения, что позволит повысить экономическую эффективность эксплуатации ВС (выраженную в экономии ресурсов двигателей, снижению расхода топлива, увеличению коммерческой загрузки), обеспечивая при этом высокий уровень безопасности при взлете и посадке. Указанные программные приложения существуют для большинства типов зарубежных ВС.

Однако, для отечественных ВС подобных систем нет, и необходимость разработки для них системы расчета ВПХ была рассмотрена в [1] и [2]. Актуальной научно-технической задачей является разработка общих принципов создания подобного рода систем применимых для широкого спектра военных и гражданских воздушных судов.

Для повышения безопасности ее использования и упрощения наполнения предлагается применить принципы искусственного интеллекта в виде экспертной системы. Экспертную систему предлагается использовать для:

- учета влияния неисправностей в соответствии с правилами перечня минимально исправного оборудования и перечня допустимых повреждений и неисправностей на расчет параметров взлета и посадки;
- предоставления пилотам дополнительной справочной информации (процедуры вылета с одним неработающим двигателем, информации о факторе, ограничивающем в конкретном расчете максимальный взлетный вес воздушного судна);
- информирования пилота о выявленных ошибках и способах их исправления.

## 2. Постановка задачи

В разрабатываемой системе предполагается использование блоков, показанных на рис. 1.

Разделение системы на блоки необходимо для обеспечения ее адаптивности и расширяемости, позволяя учитывать специфику различных типов воздушных судов.

Наполнение расчетного модуля может производиться либо предварительно рассчитанными специфическими для конкретного типа ВС таблицами анализа зависимостей

ВПХ, либо электронными данными (оцифрованными номограммами) из руководства по летной эксплуатации.



Рис. 1. Архитектура процесса расчета ВПХ.

Для наполнения базы данных по аэропортам, ВПП и препятствиям используется информация из специализированных источников аэронавигационной информации. Фрагмент логической структуры указанной базы данных представлен на рисунке 2.

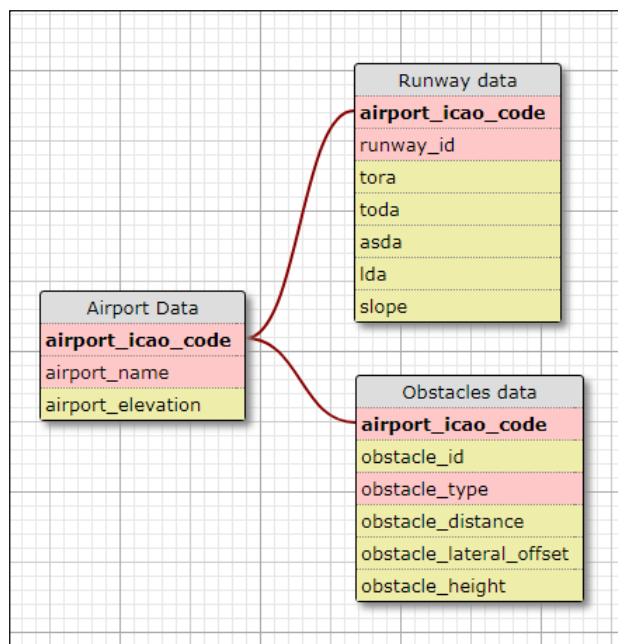


Рис. 2. Фрагмент структуры базы данных характеристик аэропортов.

Таблица «Airport Data» включает в себя кортежи ИКАО-кодов аэропортов, названия аэропортов и значения их превышений. В таблицу «Runway data» включены кортежи, касающиеся характеристик взлетно-посадочных полос аэропортов: их идентификаторы, заявленные дистанции и значения уклонов. В таблицу «Obstacles data» входят кортежи идентификаторов препятствий, их типы, удаления препятствия от торца взлетно-посадочной полосы, значения боковых удалений и высот.

Для управления правилами в экспертной системе предлагается создание специального языка описания знаний с использованием концепции предметно-ориентированного языка программирования (DSL). Данный подход позволит создать ясный и точный язык для работы с предметной областью, обеспечить необходимую гибкость при создании правил и управлении ими.

### **3. Выбор аппаратной платформы EFB**

В соответствии с международным нормативным документом ICAO «Doc 10020. Руководство по электронным полетным планшетам (EFB)» [3], аппаратное обеспечение EFB может быть переносным или встроенным (т.е. установленным стационарно и являться частью конфигурации ВС).

Наиболее перспективными являются EFB переносного типа, аппаратная платформа которых представляет собой планшетный компьютер. Планшетные компьютеры получили широкое распространение в авиации в качестве устройств EFB, поскольку обладают невысокой стоимостью, технология использования переносных EFB летным экипажем не ограничена применением только в кабине ВС.

В настоящее время стремительно растет разнообразие моделей планшетных компьютеров, разрешенных к использованию в качестве EFB. Эксплуатанты ВС уже сейчас на этапе внедрения EFB сталкиваются с непростой задачей выбора наиболее рациональной модели устройства для их конкретного случая (задача выбора рациональной модели планшетного компьютера и ее решение подробно рассматривались в [4] и [5]).

С учетом существующего многообразия электронных планшетов, и, прежде всего, для обеспечения работы программного обеспечения на отечественной элементной базе для минимизации зависимости от зарубежных производителей и снижения санкционных рисков, конечной целью является создание универсальной системы расчета ВПХ, т.е. без привязки к одной определенной аппаратной платформе.

### **4. Реализация приложения на примере ВС Ту-204**

Поскольку на первом этапе реализации программного приложения стоит задача создания программно-алгоритмического прототипа, выбор начальной платформы не имеет критичного значения. Поэтому, в целях упрощения тестирования разрабатываемого прототипа и обеспечения возможности быстрой адаптации к другим платформам за счет простоты синтаксиса, его разработка ведется в среде программирования Xcode на языке Swift.

Интерфейс разрабатываемого ПО представлен на рис. 3.

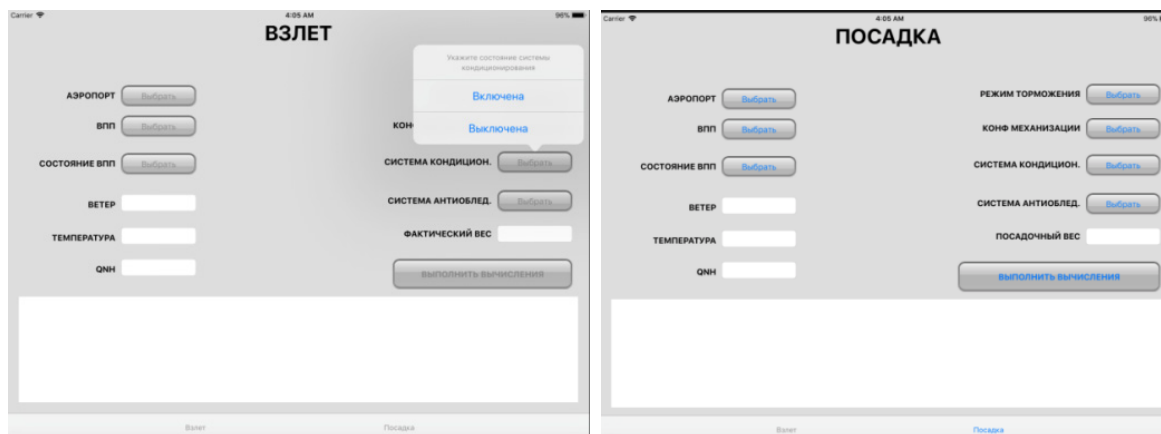


Рис. 3. Интерфейс прототипа программного приложения.

Значения параметров ВПХ определяются по номограммам, представленным в РЛЭ рассматриваемого ВС. Для автоматизации расчета параметров ВПХ, выполнена оцифровка номограмм и построены их математические модели. Например, в соответствии с построенной математической моделью, взлетная масса, ограниченная нормируемым градиентом набора высоты, представляет собой следующую функцию:

$$m_{\text{взл}} = f(T, H_{\text{аэр}}),$$

где  $T$  – температура воздуха на аэродроме,  $H_{\text{аэр}}$  – высота аэродрома.

В зависимости от значений, которые принимают параметры  $T$  и  $H_{\text{аэр}}$ , взлетная масса  $m_{\text{взл}}$ , ограниченная набором высоты, может быть определена 12 разными способами.

Например, при  $15 \leq T \leq 20$  и  $1800 \leq H_{\text{аэр}} \leq 2000$ ,  $m_{\text{взл}}$  определяется в соответствии с выражением:

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

Расчет ВПХ выполняется в вычислительном модуле системы.

## 5. Заключение

Предложенный подход к созданию системы для определения характеристик взлета и посадки позволит снизить риск использования в расчетах ВПХ некорректных или неактуальных исходных данных и обеспечить гибкость в выполнении расчетов за счет применения методов искусственного интеллекта и концепции экспертной системы, основанной на правилах. Предложенная архитектура процесса расчета ВПХ позволит обеспечить инвариантность по отношению к типу воздушных судов и, тем самым, повысить удобство использования приложения за счет отсутствия необходимости использования отдельных программных приложений для разных типов ВС. Разрабатываемая система позволит повысить безопасность полетов на этапах взлета и посадки, а также повысить экономическую эффективность эксплуатации отечественных воздушных судов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-00-00012(18-00-00011) КОМФИ.

## Список литературы

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, М.: 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 15.04.18).
4. Мельничук А.В., Марценюк Е.А. Предпосылки создания ЭС для выбора электронного планшета электронной информационной системы EFB для летного экипажа воздушного судна // Международная молодежная научная конференция «XXXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых)»: Материалы конференции. Сборник докладов, в 4 т. Казань: Изд-во Академии наук Республики Татарстан, 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.