

УДК 62-40

Программный комплекс вероятностно-гарантированной оценки состояния бортовых систем воздушного судна

Евдокименков В.Н.^{1*}, Ким Р.В.^{1}, Попов С.С.,^{1***} Галенков А.А.^{2****}**

¹*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия,*

²*Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, Минпромторг, Китайгородский проезд, 7, Москва, 109074, Россия*

*e-mail: evn@netland.ru

**e-mail: romanvkim@yandex.ru

***e-mail: sp@mai.ru

****e-mail: andrewgof@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрены назначение, функциональные возможности и архитектура программного комплекса послеполетной вероятностно-гарантированной оценки состояния бортовых систем воздушного судна. В основе реализованных в рассматриваемом программном комплексе методов и алгоритмов лежит идея представления бортовой системы в виде эталонного образа в пространстве параметров состояния, характеризующего ее штатное функционирование.

Ключевые слова: бортовая система, оценка состояния, вероятностно-гарантированный подход, эталонный образ.

Введение

Повышение эксплуатационной безопасности наряду со снижением издержек эксплуатации воздушных судов (ВС) являются одними из наиболее актуальных задач, с которыми сталкиваются производители и эксплуатанты авиационной техники. Одним из перспективных путей их решения является дополнения существующих подходов к эксплуатации ВС методами технологии эксплуатации по состоянию, обеспечивающими поддержку принятия решений о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации конкретного ВС с учетом текущего состояния его бортовых систем и их фактического ресурса, определяемого особенностями предшествующей эксплуатации [1-4]. Интеллектуальным ядром подобных систем являются модели и алгоритмы, позволяющие получать достоверные оценки текущего состояния узлов, агрегатов и бортовых систем конкретных ВС в процессе эксплуатации по мере выработки ими ресурса. Наиболее распространенными подходами к решению задачи получения таких оценок состояния на сегодняшний день являются подходы, использующие методы теории идентификации [5-7], и статистические методы [8-11]. При этом общим недостатком данных методов являются высокие требования к объемам априорной информации, необходимой для анализа, например, знание математических моделей функционирования исследуемых систем, многомерных плотностей вероятностей распределения контролируемых параметров, или границ областей их допустимых значений.

Ранее, в работах [12-15], были предложены методы и алгоритмы вероятностно-гарантированной оценки технического состояния систем ВС, в том числе с использованием их эталонных образов [15]. Новизна предложенных методов определяется возможностью получения вероятностно-гарантированных оценок технического состояния контролируемых систем при минимальном объеме априорной информации об их свойствах и законах функционирования. Для сохранения преемственности изложения повторим основные положения, лежащие в их основе.

1. Алгоритмы интегральной оценки текущего технического состояния бортовых систем самолета на основе их эталонных образов

В основе рассматриваемого подхода к оценке состояния бортовых систем лежит идея о том, что значения параметров, характеризующих состояние системы, при ее штатном функционировании лежат внутри некоторой «эталонной» области. Выход же значений параметров за границы такой области может свидетельствовать о наличии нештатного режима функционирования. Эталонная область строится для каждого типового полетного режима. Особенности реализации отдельных алгоритмов зависят от того, в каком виде представлена такая эталонная область. При этом следует отметить, что возможности различного представления эталонной области существенным образом зависят от объема доступной априорной информации об особенностях функционирования исследуемой системы.

В рамках предложенного в [15] подхода эталонная область системы для отдельно взятого типового полетного режима представляет собой множество E_X точек X^j , $j=1, N$ в пространстве параметров состояния бортовой системы,

соответствующих штатному режиму функционирования. Такое множество формируется и непрерывно уточняется в процессе штатной эксплуатации системы на основании данных, накапливаемых бортовыми средствами регистрации. Поскольку, строго говоря, построенное таким образом множество E_X представляет собой не область в пространстве параметров, а лишь некий дискретный набор точек, далее будем называть его «эталонным образом» системы.

В процессе выполнения типового полетного режима признаком штатного функционирования системы является выполнение условия

$$X(t_k) \in E_X \quad (1.1), \text{ где}$$

$X(t_k)$, $k = 1, \dots, m$ векторы параметров, регистрируемые бортовыми устройствами регистрации (БУР) [16-18] и характеризующие состояние контролируемой бортовой системы.

Поскольку и множество точек X^j , формирующих эталонный образ E_X и векторы $X(t_k)$ формируются под влиянием случайных ошибок измерений, для проверки условия (1.1) целесообразно использовать вероятностный критерий вида:

$$P_k = P\{X(t_k) \in E_X\} \quad (1.2)$$

Признаком того, что контролируемая система в конкретный момент времени t_j отвечает условиям безопасной эксплуатации, является выполнение неравенства

$$P_k \geq \alpha \quad (1.3), \text{ где}$$

α - заданное пороговое значение вероятности.

Проблема проверки условия вида (1.3) на практике осложняется, во-первых, необходимостью получения оценок многомерной функции распределения векторов

контролируемых параметров $P\{X(t_k)\}$, а, во-вторых - необходимостью аналитического описания эталонного образа E_X , представляющего собой, как указывалось ранее, дискретный набор точек в пространстве параметров контролируемой системы. Предложенный в [15] способ проверки условия (1.3) позволяет избежать указанных затруднений и на практике предполагает выполнение следующих шагов.

Шаг 1. Рассчитывается геометрический центр эталонного множества E_X . В качестве геометрического центра выступает точка \bar{X} с координатами $\bar{X}_i, i=1, \dots, n$, рассчитываемыми на основе выражения:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_i^j \quad (1.4)$$

Шаг 2. Вычисляются расстояния $d^j(X^j, \bar{X}), j=1, \dots, N$ от каждой из точек X^j до геометрического центра \bar{X} эталонного множества. В качестве расстояний $d^j(X^j, \bar{X})$ используются расстояния Махаланобиса [19]:

$$d^j(X^j, \bar{X}) = (X^j - \bar{X})^T K_X^{-1} (X^j - \bar{X}) \quad (1.5), \text{ где}$$

K_X^{-1} - ковариационная матрица, рассчитываемая на основе реализаций X^j .

Шаг 3. На основе значений d^j рассчитывается выборочная функция распределения

$$\bar{F}(\mu) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \chi_j \quad (1.6), \text{ где}$$

$\chi_j = 1$, если $d^j \leq \mu$; 0 – в противном случае.

Шаг 4. С использованием полученных значений выборочной функции распределения $\bar{F}(\mu)$ рассчитывается оценка «истинной» функции распределения $F(\mu)$ с использованием алгоритма, описанного в работе [12].

Шаг 5. Вычисляются значения вероятностных критериев, используемых для последующего контроля текущего состояния бортовой системы. Для этого на основе текущих значений параметров состояния контролируемой бортовой системы $X(t_k)$ в пространстве параметров состояния рассчитывается текущее значение расстояния Махаланобиса $d(X(t_k))$ от точки $X(t_k)$, характеризующей текущее состояние бортовой системы, до геометрического центра эталонного множества \bar{X} . Это расстояние рассчитывается на основе выражения, подобного (1.5):

$$d(X(t_k)) = (X(t_k), \bar{X}) = (X(t_k) - \bar{X})^T K_X^{-1} (X(t_k) - \bar{X}) \quad (1.7)$$

Представление эталонного образа бортовой системы в виде функции распределения $F(\mu)$ позволяет проводить оценку ее состояния с использованием прямого (вероятность) и обратного (квантиль) вероятностных критериев, при этом, как было показано в [15], более привлекательным для оценки состояния бортовой системы представляется использование обратного вероятностного критерия (квантили). Исходя из этого, правило формирования вывода относительно текущего состояния бортовой системы формулируется следующим образом. Если

$$d(X(t_k)) \leq \mu_\alpha \quad (1.8),$$

то принимается решение о том, что бортовая система функционирует в штатном режиме. При этом достоверность такого решения гарантирована вероятностью α . Условие

$$d(X(t_k)) > \mu_\alpha (1.9)$$

указывает на возникновение нештатного режима работы бортовой системы.

Преимуществом рассмотренного подхода является то, что он требует минимального объема априорной информации об особенностях функционирования систем ВС. В частности он не предполагает знания многомерной функции распределения векторов контролируемых параметров $P\{X(t_k)\}$ и не требует аналитического описания эталонного образа E_X , соответствующего штатному режиму функционирования системы.

2. Функциональные возможности и архитектура программного комплекса оценки состояния бортовых систем воздушного судна.

Рассмотренные в предыдущем разделе алгоритмы были реализованы в программном комплексе оценки состояния бортовых систем воздушного судна. Программный комплекс функционирует в режиме слепого анализа информации и использует наращиваемую в процессе эксплуатации конкретного ВС базу данных (БД) полетной информации, для наполнения которой используются данные получаемые с использованием БУР. Программный комплекс обеспечивает:

- просмотр и визуальный анализ списка полетов, накопленных к текущему моменту эксплуатации ВС, с датами и временем их выполнения;
- формирование и непрерывное уточнение в процессе эксплуатации эталонных образов контролируемых бортовых систем;

- сбор, обработку и анализ полетной информации в интересах вероятностно-гарантированной оценки текущего состояния бортовых систем ВС и прогноза их работоспособности;
- послеполетную вероятностно-гарантированную оценку текущего технического состояния контролируемых бортовых систем ВС и выработку решения относительно возможности его дальнейшей безопасной эксплуатации;
- графическое отображение зависимости, отражающей состояние контролируемых систем ВС в процессе эксплуатации;
- графическое отображение функции распределения значений, представляющих собой расстояния Махаланобиса между геометрическим центром эталонного образа контролируемой бортовой системы и точками, координаты которых определяются значениями параметров состояния системы при условии её штатного функционирования.

Программный комплекс позволяет проводить оценку технического состояния бортовой системы по любым параметрам и типовым режимам, внесенным БД полетной информации. Требования к достоверности результатов оценки технического состояния бортовых систем ВС устанавливает пользователь путем выбора конкретного значения доверительной вероятности α , для которой проводится расчет значения квантили μ_α , входящего в соотношения (1.8), (1.9).

Функции, реализуемые программным комплексом, можно объединить в следующие группы:

- функции, реализующие чтение данных из БД полетной информации и файлов полетных данных;
- функции, обеспечивающие отображение списка доступных для анализа полётов;
- функции, обеспечивающие выбор полётов, типовых полётных режимов и контролируемых параметров для последующего формирования эталонного образа бортовой системы ВС;
- функции, обеспечивающие расчет и компактное представление эталонного образа бортовой системы в виде набора статистических характеристик;
- функции, предназначенные для графического представления эталонного образа оцениваемой системы;
- функции, обеспечивающие отображение полётных данных, используемых для формирования эталонного образа системы;
- функции, реализующие выбор полётов и типовых полётных режимов для проведения оценок состояния бортовых систем ВС;
- функции, обеспечивающие настройку процедуры оценки технического состояния контролируемой бортовой системы ВС и её выполнение;
- функции, предназначенные для графического представления результатов индивидуальной оценки текущего технического состояния контролируемых бортовых систем ВС;
- функции, реализующие вспомогательные возможности программного обеспечения.

Ниже приводится описание перечисленных функций, реализованных в программе.

Функция чтения файла полетных данных. Программный комплекс обеспечивает возможность ввода данных из реляционной базы данных, функционирующей под управлением системы управления базами данных Microsoft SQL Server, из текстовых файлов формата .txt и файлов формата .xls. Для взаимодействия с БД при первоначальной настройке программы необходимо задать настройки подключения к БД: адрес сервера БД, имя БД, имя пользователя и пароль. Эти настройки могут быть также заданы или изменены при последующей работе с программным комплексом. В случае, если чтение полетных данных осуществляется из файлов, пользователю отображается окно, в котором он указывает путь к интересующему его файлу. После этого программа автоматически считывает содержащиеся в этом файле данные.

Функция отображения полного списка полётных данных из загруженного файла. Программный комплекс обеспечивает возможность просмотра полетных данных, отражающих состояние контролируемых систем ВС в процессе эксплуатации путем отображения списка полетов, выполненных ВС к текущему моменту. Для каждого из полетов, включенных в список, пользователю доступна информация по конкретным значениям параметров, отражающих состояние контролируемых систем ВС на каждом из типовых полетных режимов.

Функции выбора полётов, типовых полётных режимов и параметров для построения эталонного образа системы. Программный комплекс обеспечивает возможность выбора конкретных полётов, типовых полётных режимов и списка

параметров для построения эталонного образа. Для настройки каждого из упомянутых списков в главном окне программного комплекса расположены соответствующие кнопки, активизация которых обеспечивает отображение необходимых диалоговых окон. Настройка списка производится путём маркировки специальных полей, соответствующих номеру полёта, типовому режиму или наименованию (идентификатору) параметра.

Функции, предназначенные для построения эталонного образа системы. В соответствии с рассмотренной концепцией вероятностно-гарантированной оценки технического состояния бортовых систем ВС эталонный образ контролируемой системы формируется для каждого типового полетного режима в пространстве параметров состояния, задаваемых пользователем. Этот эталонный образ представляет собой множество точек в пространстве состояний контролируемой системы, координаты которых соответствуют значениям параметров, отражающих состояние системы при условии её штатного функционирования. Формирование эталонного образа достигается путем выбора пользователем:

- списка полетов, данные которых используются для формирования эталонного образа. В этот список включаются полеты, в ходе которых контролируемая бортовая система функционировала штатно, что подтверждено результатами её послеполетного контроля;

- типового полетного режима, для которого формируется эталонный образ;

- перечня параметров, отражающих состояние контролируемой бортовой системы.

Для построения образа на главном окне программы расположена функциональная кнопка, после нажатия на которую происходит автоматическое построение эталонного образа системы, определяемой указанным перечнем контролируемых параметров.

Функции, предназначенные для графического представления эталонного образа контролируемой системы. После выбора пользователем условий для формирования эталонного образа контролируемой системы пользователю отображается его компактное параметрическое представление в виде функции распределения (рис. 2). Эта функция описывает распределение значений расстояния Махаланобиса между геометрическим центром эталонного образа и точками, координаты которых соответствуют значениям параметров состояния системы при условии её штатного функционирования.

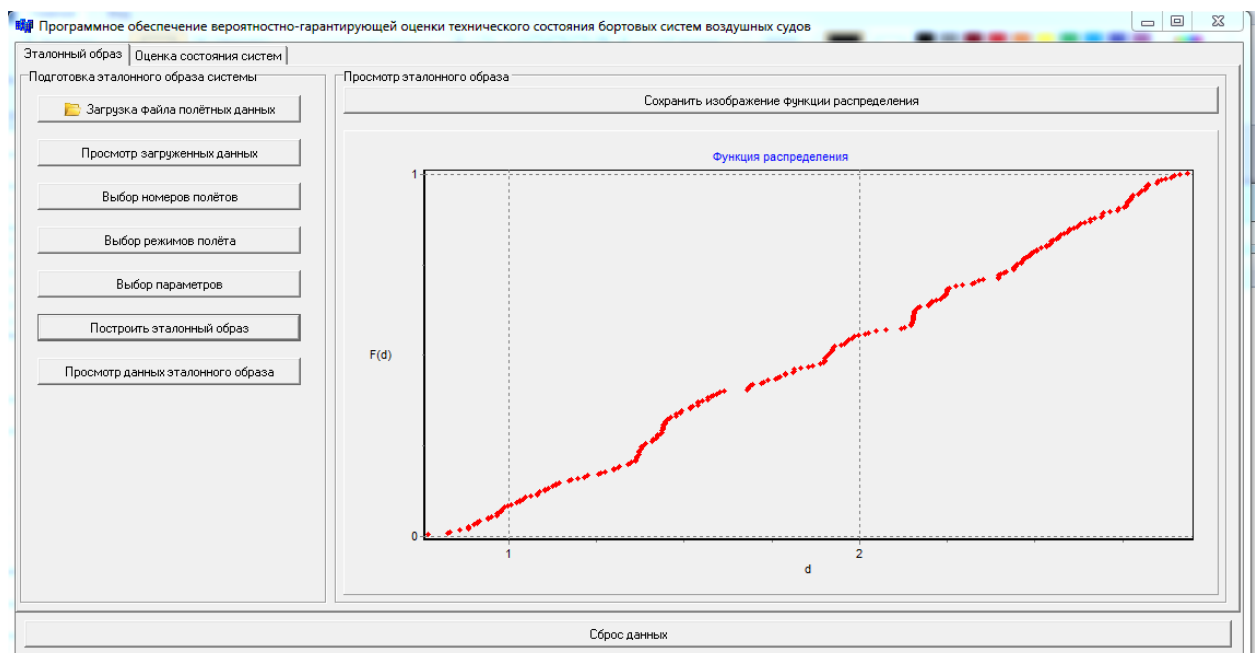


Рис. 1. Отображение эталонного образа в виде функции распределения

Функции, обеспечивающие отображения полётных данных, выбранных для построения эталонного образа системы. Программный комплекс обеспечивает

возможность просмотра полетных данных, выбранных для формирования эталонного образа контролируемой системы. Для каждого из полетов, включенных в отображаемый список, пользователю доступна информация по конкретным значениям параметров, отражающих состояние контролируемых систем ВС на каждом из типовых полетных режимов.

Функции, реализующие выбор списка полётов и типовых полётных режимов для проведения оценок состояния бортовых систем ВС. Программа предоставляет пользователю возможность выбора списка полётов и типовых полётных режимов для последующих оценок состояния бортовых систем ВС. Для настройки каждого из упомянутых выше списков на главном окне программы расположены соответствующие кнопки, активизирующие отображение необходимых диалоговых окон. Настройка списка производится путём маркирования специальных полей, соответствующих номеру полёта или типовому режиму.

Функции, обеспечивающие настройку и проведение оценок технического состояния контролируемых параметров. Для настройки алгоритма оценки состояния контролируемой бортовой системы пользователь конкретизирует значение доверительной вероятности, определяющее требование к достоверности выводов относительно состояния системы. В зависимости от выбранного пользователем значения доверительной вероятности автоматически рассчитывается значение квантили, определяющее в пространстве параметров системы предельное расстояние от точки, соответствующей её текущему состоянию, до центра эталонного образа, которое не может быть превышено (с гарантированной вероятностью, заданной пользователем) при условии штатного функционирования

системы. Расчет оценок состояния системы выполняется после ввода значения доверительной вероятности и нажатия на соответствующую кнопку.

Функции, предназначенные для графического представления результатов индивидуальной оценки текущего технического состояния контролируемых бортовых систем ВС. После проведения оценок пользователю в отдельном окне отображается (рис. 2):

- значения расстояния Махаланобиса от точки, координаты которой соответствуют текущим значениям параметров состояния контролируемой бортовой системы, до геометрического центра её эталонного образа в пространстве параметров состояния в анализируемом полете;

- значение квантили, выход за которое является признаком нештатного функционирования контролируемой системы на выбранном типовом полетном режиме.

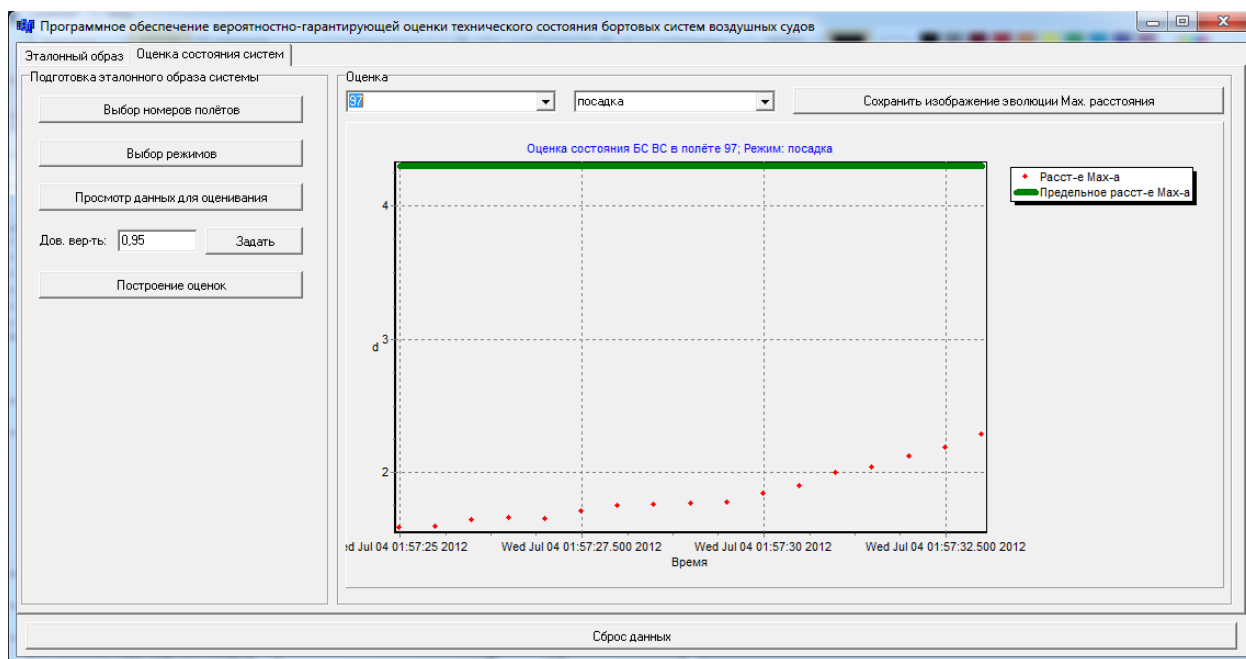


Рис.2. отображение результатов оценки состояния

Функции, реализующие вспомогательные возможности программного обеспечения. Помимо вышеописанных функций программа позволяет с помощью активизации соответствующих специализированных кнопок выполнять сохранение отчетов о поведенном анализе в файлы формата .xls, а также графических изображений в файлы формата *.png.

Программный комплекс реализован на основе трехуровневой логической архитектуры с использованием шаблона проектирования Layers [20], предполагающего наличие следующих уровней:

- уровень интерфейса пользователя;
- уровень логики приложения;
- уровень доступа к данным.

Приведем краткое описание основных пакетов для каждого из трех уровней системы.

Уровень интерфейса. Пакет VCL. Основным содержимым данного пакета является библиотека визуальных компонент среды разработки Borland C++ Builder 6. Функционирование программного комплекса на данном уровне обеспечивается включением визуально-форменных классов, краткое описание которых приведено в таблице 1.

Таблица 1. Описание основных визуально-форменных классов ПО

Класс	Обеспечиваемая функциональность
TfrmAnalysisPa rs	Визуальный класс, предназначенный для отображения результатов анализа информативности параметров

TfrmDataView	Визуальный класс, предназначенный для отображения пользователю полётных данных
TfrmLoading	Визуальный класс, реализующий отображение титульного листа программного обеспечения
TfrmMain	Визуальный класс, инкапсулирующий методы, обеспечивающие функциональные возможности программы
TfrmReady	Визуальный класс, предназначенный для информирования пользователя о завершении некоторого процесса
TfrmSelFINums	Визуальный класс, реализующий выбор номеров полётов
TfrmSelModes	Визуальный класс, предназначенный для предоставления пользователю возможности выбора типовых полётных режимов
TfrmSelParams	Визуальный класс, реализующий выбор пользователем полётных параметров
TfrmWaiting	Визуальный класс, предназначенный для информирования пользователя о протекании некоторого процесса

Уровень логики приложения. Функционирование программного комплекса на данном уровне обеспечивается включением в данный пакет следующих функциональных классов (таблица 2).

Таблица 2 Описание основных функциональных классов уровня логики приложения.

Класс	Обеспечиваемая функциональность
cDistrF	Функциональный класс, инкапсулирующий основные свойства функций распределения
cDiscrDF	Функциональный класс, инкапсулирующий основные свойства дискретных функций распределения
cMathStat	Функциональный класс, реализующий функции статистической обработки данных
cTime	Функциональный класс, инкапсулирующий методы для работы с датой/временем
Vector	Функциональный класс, реализующий математическое понятие вектора и основные векторные операции, а также методы согласования с классическими типами вещественных контейнеров
Matrix	Функциональный класс, реализующий математическое понятие матрицы и основные матричные операции, а также методы согласования с классическими типами вещественных контейнеров

Уровень доступа к данным. На данном уровне функционирование программного комплекса обеспечивается включением в данный пакет следующих функциональных классов, обеспечивающих выполнение основных функций доступа к данным (таблица 3)

Таблица 3. Описание основных функциональных классов ПО уровня доступа к
данным

Класс	Обеспечиваемая функциональность
sARData	Функциональная структура, предназначенная для хранения полётных данных
sARFile	Функциональный класс, реализующий понятие файла полётных данных и предназначен для заполнения из файла структуры данных sARData

Более детально архитектура логической части приложения может быть представлена в виде диаграммы классов, включающей как непосредственно описания классов, так и основные функциональные связи между ними, приведенные на рис. 3

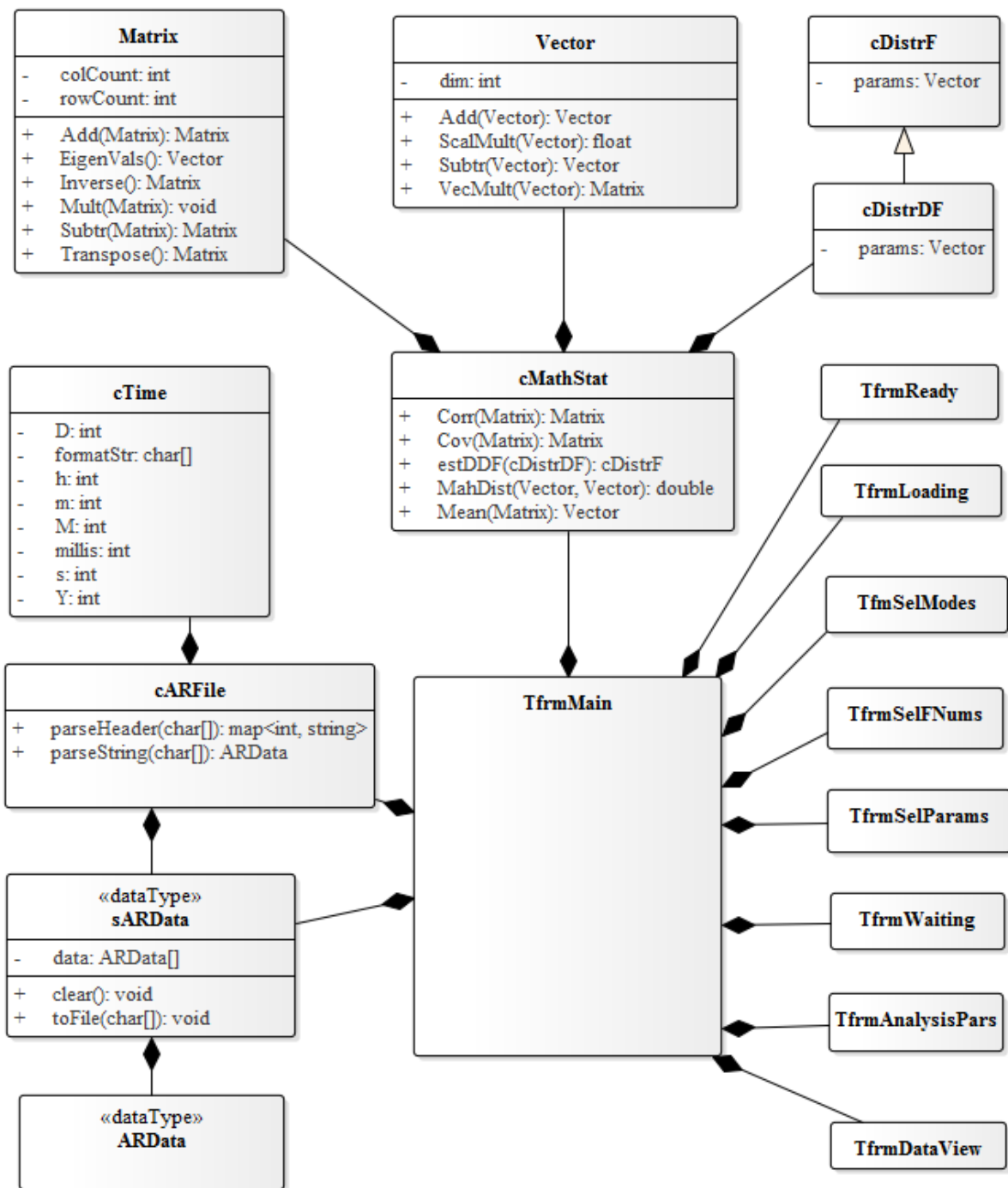


Рис 3. Диаграмма классов программного комплекса

Заключение

Рассмотрена задача слепополетной оценки технического состояния бортовых систем ВС на основе вероятностно-гарантирующего подхода с использованием их эталонных образцов. Преимуществом предложенного подхода по сравнению с ранее

известными подходами к решению подобных задач является то обстоятельство, что он не требует привлечения дополнительной априорной информации о свойствах, законах и условиях функционирования контролируемых систем ВС, а предполагает только использование информации, регистрируемой БУР. В интересах практического использования предложенного подхода разработан программный комплекс вероятностно-гарантированной послеполетной оценки технического состояния бортовых систем ВС. Предложенный подход и разработанный программный комплекс могут использоваться в качестве дополнительных средств оценки технического состояния бортовых систем в процессе эксплуатации воздушных судов.

Библиографический список

1. Ahmadi A. Aircraft Scheduled Maintenance Programme Development. Decision Support Methodologies and Tools, Universitetstryckeriet, Lulea, 2010, 154 p.
2. Pattie D. On condition maintenance. Advisory Circular AC43-4, Civil Aviation Authority Of New Zeland, 25 December 2017, URL: www.caa.govt.nz/Advisory_Circulars/AC043_13.pdf
3. Ackert S. Basics of Aircraft Maintenance Reserve Development and Management, Aircraft Monitor August 2012, URL: <http://www.iata.org/whatwedo/workgroups/documents/paperless%20supply%20chain/basic-ac-mr.pdf>

4. Ратникова Н.А. Методы и средства контроля авиационной техники по состоянию на основе вероятностно-гарантирующего подхода - М.: Изд-во МАИ, 2004. - 183 с.
5. Klein V., Morelli E.A. Aircraft System Identification – Theory and Practice. AIAA, Blacksburg, USA, 2006, 484 p.
6. Krajcek K., Nikolic D. Dimitrovic A. Aircraft Performance Monitoring From Flight Data // Tehnicki vjestnik, 2015, no. 5, pp.1337 - 1344.
7. Никитин А.И. Методика идентификации параметров математической модели летательного аппарата на основе синтеза следящей системы // Труды МАИ. 2011. № 45. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=25471>
8. Kumar R., Ghoshhajra M. Configurable flight data analysis for trends and statistics analysis – an embedded perspective of an efficient flight safety system // Proceedings of the International Conference on Aerospace Science and Technology, 26-28 June 2008, Bangalore, India, URL: https://nal-ir.nal.res.in/8544/1/final_paper-NAL-NALFOQAConfigurable_flight_data_analysis_ver_2.0.pdf
9. Flight Data Monitoring. Second Edition. Civil Aviation Authority, 2013, 191p.
10. Француз Т.А. Статистический анализ требований к прочности пассажирского самолета при его полете в турбулентной атмосфере // Труды ЦАГИ. 1985. № 2257. С. 3 - 13.
11. Машошин О.Ф. Прогнозирование вибросостояния авиадвигателей с позиции классификационных задач // Научный вестник МГТУ ГА. 2005. № 85. С. 39 - 45.

12. Евдокименков В.Н., Красильщиков М.Н., Ратникова Н.А. Оценка текущего состояния воздушного судна и его систем на основе вероятностно-гарантирующего подхода // Известия РАН. Теория и системы управления. 2003. № 6. С. 38 - 46.
13. Красильщиков М.Н., Евдокименков В.Н., Ким Р.В. Функционально-программный прототип комплекса мониторинга технического состояния летательного аппарата и его систем в процессе эксплуатации // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 2. С. 13 - 19.
14. Евдокименков В.Н., Ким Р.В., Векшина А.Б., Воронов А.А. Оперативная и послеполетная вероятностно-гарантированная оценка текущего технического состояния бортовых систем летательного аппарата // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2014. № 3. С. 60 - 63.
15. Евдокименков В.Н., Ким Р.В., Воронов А.А., Векшина А.Б. Интегральная оценка текущего технического состояния бортовых систем самолета на основе их эталонных образцов // Труды МАИ. 2013. № 77. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=53144>
16. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. ГОСТ Р 55865-2013. - М.: Стандартинформ, 2014. -15 с.
17. TSO-C124b. Technical Standard Order. Flight Data Recorder System. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Aircraft Certification Service, Washington, D.C., 2014.
18. Aircraft Maintenance Manual (AMM) of Airbus A320, Flight Data Recording Parameter Library (FDRPL), Airbus, 2004.

19. Ким Д-О, Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р., Олдендерфер М.С., Блэшфлуд Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ - М.: Финансы и статистика, 1989, 216 с.
20. Larman By G. Applying UML and Patterns: An introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development, Third Edition. Addison Wesley Professional, 2004, 736 p.