

**Метод оценки показателя достоверности выходных  
данных, подготавливаемых средствами  
автоматизированной системы подготовки  
данных полета летательных аппаратов**

© А.Г. Андреев<sup>1</sup>, Г.В. Казаков<sup>1</sup>, В.В. Корянов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России,  
г. Королев Московской обл., 141091, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Методы решения задачи обеспечения достоверности информации рассмотрены в трудах многих отечественных и зарубежных ученых. Однако при выполнении некоторых задач автоматизации деятельности персонала органов управления могут возникнуть трудности с вычислением требуемого значения достоверности данных вследствие сложности алгоритмов расчета показателя достоверности и затруднений в получении адекватных исходных данных. Рассмотрен новый метод оценки показателя достоверности данных полета летательных аппаратов, основанный на специальном представлении процесса подготовки данных в виде последовательного соединения во времени технологических участков и расчета показателей достоверности функционирования каждого из элементов технологического участка и технологического участка в целом. Структура типового технологического участка, обслуживаемого документалистом, оператором, включает технические средства, программные средства и процедуру коррекции ошибочных данных, обнаруженных процедурой контроля. Технологические участки составляют элементарный процесс подготовки данных. Использование такой модели процесса позволило получить простой рекуррентный алгоритм оценки показателя достоверности данных для любого технологического участка с использованием значений показателя достоверности для предшествующих технологических участков. После определения вероятности искажения данных и времени выполнения операций элементами технологического участка можно вычислить значения аналогичных показателей каждого элементарного процесса подготовки данных и системы в целом. В качестве примера рассмотрен элементарный процесс подготовки данных, заключающийся в актуализации базы данных системы. Этот этап является наиболее представительным, так как в его выполнении задействованы все элементы технологического участка.*

**Ключевые слова:** автоматизированная система, база данных, данные достижимости, визуальный контроль, логический контроль, кратность контроля, летательный аппарат, план полетов, подготовка данных, технологический участок, элементарный процесс

**Введение.** Проблема обеспечения достоверности данных автоматизированной системы (АС) практически решена в работах [1–8]. Как отметил академик А.А. Воронов, работа [5] «является серьезной попыткой впервые в отечественной и мировой литературе дать систематическое изложение формализации задач синтеза систем контроля

и защиты данных и их резервирования». Однако при решении конкретных задач обеспечения требуемого уровня достоверности обрабатываемой средствами АС информации могут возникнуть трудности, связанные, во-первых, со сложностью алгоритмов вычисления показателя достоверности данных и, во-вторых, с возможностью получения адекватных исходных данных (ИД) для расчета показателя достоверности выходных данных. Сложность алгоритмов вычисления показателя достоверности данных зависит от сложности модели представления структуры АС. В связи с этим проведен анализ способов представления модели структуры АС:

- агрегатного представления [9, 10];
- стратифицированного [11];
- скелетной сетью Петри [12, 13];
- в виде технологических участков (ТУ) [14].

Результаты анализа показали, что представление структуры АС в виде ТУ позволяет получить наиболее простые алгоритмы расчета показателя достоверности данных.

Множество летательных аппаратов (ЛА) совершают полет в соответствии с планом полетов ЛА (ППЛА), подготавливаемым системой ИД. Очевидно, что назначение пункта прибытия для каждого ЛА должно осуществляться в зависимости от запаса топлива и его удельного расхода. В связи с этим в систему бортовой аппаратуры ЛА должны быть введены специальные данные, называемые данными достижимости (ДД).

При рассмотрении метода оценки показателя достоверности ДД предположим, что показатели более частных свойств данных (полнота, понятность, объем, язык, на котором представлены данные, и др.) имеют требуемые значения показателей их качества. Данные являются достоверными, если их формально-структурные характеристики соответствуют истинным (эталонным) значениям.

В работе [14] показано, что для оценки показателей качества данных, подготавливаемых АС подготовки данных (АСПД) полета ЛА, ее структуру удобно представить в виде последовательности технологических участков. Типовой ТУ включает документалиста (Д) и оператора (О), а также технические средства (ТС) и программные средства (ПС), процедуру коррекции ошибочных данных (ПКОД), которые были обнаружены процедурой контроля (ПК).

Элементарный процесс подготовки данных (ЭППД) состоит из нескольких ТУ. Любой ЭППД может быть представлен в виде последовательного во времени соединения ТУ. Определив вероятности искажения данных элементами ТУ, можно найти аналогичные показатели каждого ЭППД, входящего в состав процесса подготовки ДД и АСПД в целом.

В работе [14] показано, что если структуру системы представить в виде последовательности ТУ, то показатель достоверности данных на  $S$ -м ЭППД определится следующим рекуррентным выражением:

$$Q_{S_i} = \left[ 1 - (1 - Q_{S_{(i-1)}}) (1 - Q_{S_i}^D) (1 - Q_{S_i}^O) (1 - Q_{S_i}^{TC}) (1 - Q_{S_i}^{PC}) \right] \varphi_{S_i} (P_{\beta}^{CK}), \quad (1)$$

где  $Q_{S_{(i-1)}}$  — вероятность искажения данных на выходе  $(i-1)$ -го ТУ  $S$ -го ЭППД;  $Q_{S_i}^D$  — вероятность внесения ошибки документалистом на  $i$ -м ТУ  $S$ -го ЭППД;  $Q_{S_i}^O$  — вероятность внесения ошибки оператором на  $i$ -м ТУ  $S$ -го ЭППД;  $Q_{S_i}^{TC}$  — вероятность отказа (сбоя) ТС АСПД  $i$ -го ТУ  $S$ -го ЭППД;  $Q_{S_i}^{PC}$  — вероятность проявления ошибки в ПС АСПД  $i$ -го ТУ  $S$ -го ЭППД;  $\varphi_{S_i} (P_{\beta}^{CK})$  — функция, зависящая от вида средств контроля (СК) достоверности данных на  $i$ -м ТУ  $S$ -го ЭППД;  $P_{\beta}^{CK}$  — вероятность ошибки второго рода процедуры контроля  $i$ -го ТУ.

Известно, что с достаточной для практики точностью показатель надежности ТС определяется выражением

$$P_H^{TC} = 1 - Q_H^{TC} = 1 - \lambda^{TC} t^{TC}, \quad (2)$$

где  $\lambda^{TC}$  — интенсивность отказов ТС;  $t^{TC}$  — время непрерывной работы ТС.

Таким образом, метод оценки показателя достоверности данных АСПД базируется на представлении модели функционирования системы в виде последовательного соединения во времени ТУ, расчете показателей качества функционирования каждого элемента ТУ и ТУ в целом. Следующими этапами являются представление процесса функционирования системы в виде последовательного и последовательно-параллельного соединения ЭППД и расчета показателей качества функционирования каждого ЭППД и системы в целом. Кроме того, применение метода оценки показателя достоверности данных требует разработки частных алгоритмов, необходимых для практического применения.

**Способы получения исходных данных для оценки показателя достоверности данных.** Любой метод будет лишен практической значимости, если для его алгоритмов невозможно получить достоверные ИД. Несмотря на то что рекуррентный алгоритм (1) прост, для его использования требуется значительное число разнообразных видов ИД и дополнительных алгоритмов. К необходимым ИД относятся [3–5]:

группа 1 — среднестатистические данные (математические ожидания) с доверительной вероятностью 0,9; вероятность искажения

(ошибки) данных документалистом  $Q_{\text{ош}}^{\text{Д}} = 0,006$ ; вероятность искажения данных оператором  $Q_{\text{ош}}^{\text{О}} = 0,02$  и др.;

группа 2 — интенсивности отказов и сбоев устройств ЭВМ: устройства ввода-вывода (УВВ)  $\lambda_{\text{УВВ}} = 0,00025$ ; печатающего устройства (ПЧУ)  $\lambda_{\text{ПЧУ}} = 0,00042$  и др.;

группа 3 — приближенные данные по надежности видов программного обеспечения (ПО), полученные по результатам эксплуатации АСПД: показатель надежности для ПО первого типа (после 15–20 лет бездефектной непрерывной эксплуатации)  $P_{\text{ПО}}^{(1)} = 0,999$ , для ПО второго типа (имеющего линейную структуру и срок бездефектной эксплуатации не менее пяти лет)  $P_{\text{ПО}}^{(2)} = 0,99$ , для ПО третьего типа (без опыта эксплуатации)  $P_{\text{ПО}}^{(3)} = 0,95$ ;

группа 4 — вероятности ошибок второго рода, используемых в АСПД средств контроля достоверности данных: 4.1) для процедуры визуального контроля (ВК) одним оператором  $P_{\beta}^{\text{ВК1}} = 0,1$  и двумя операторами  $P_{\beta}^{\text{ВК2}} = 0,2$ ; 4.2) для процедуры контроля достоверности данных с использованием взвешенных контрольных сумм (ВКС): для ВКС первого типа  $P_{\beta}^1 = 0,000037$ , второго типа  $P_{\beta}^2 = 0,000213$ , третьего типа  $P_{\beta}^3 = 0,000213$ ; 4.3) для побитовой сверки (ПбС) двух одноименных массивов данных  $P_{\beta}^{\text{ПбС}} = Q_v^1 Q_v^2$ ; 4.4) для средств логического контроля (ЛК) достоверности данных  $P_{\beta}^{\text{ЛК}}$ .

Приведенные исходные данные (группы 1 и 2) являются устаревшими, но это не снижает их ценности для расчетов показателя достоверности ДД ( $D_{\text{ДД}}$ ) этих данных, поскольку они являются «завышенными» по вероятностям искажения информации. Следовательно, если средства подготовки ДД для этих исходных данных обеспечат требуемые значения приведенных выше показателей, то для реальных условий, в которых вероятности искажения данных меньше, эти средства подготовки ДД будут заведомо более эффективными.

Показатели надежности ПО (группа 3) определены на основании опыта его эксплуатации.

Смысл ошибки второго рода (группа 4.1) заключается в том, что контролирующее лицо не замечает ошибки в данных при однократной сверке текущих данных с их эталонными значениями. Для определения вероятности этого события проведен ряд экспериментов [3, 4], которые показали, что из 10 ошибок в данных контролер не замечал в среднем одну ошибку.

Смысл ошибки второго рода (группа 4.2) заключается в том, что при изменении контролируемого массива данных его ВКС остается

прежней, т. е. ВКС нечувствительна к изменению данных. Вероятности ошибок второго рода ВКС определены путем постановки специального вычислительного эксперимента, в котором фиксируется какой-либо реальный вариант массива данных ДД и случайным образом осуществляются изменения его элементов, а затем по одному и тому же алгоритму рассчитывается значение ВКС [15]. Число случаев, в которых значение ВКС не изменялось, отнесенное к общему числу проводимых экспериментов, определяло вероятность ошибки второго рода данной ВКС.

Ошибка второго рода (группа 4.3) будет иметь место только в том случае, если сравниваемый ошибочный бит контролируемого массива данных совпадет со сравниваемым «эталонным» битом, который также будет ошибочным с тем же значением и местом расположения в эталонном массиве данных. В одноименных разрядах оригинала  $P_{\beta O}$  и дубля  $P_{\beta Д}$  вероятность ошибки второго рода будет

$$P_{\beta} = P_{\beta O} (1 - P_{\beta Д}) + P_{\beta Д} (1 - P_{\beta O}) + P_{\beta Д} P_{\beta O}.$$

Вероятность  $P(\epsilon)$  того, что в ошибочном разряде реквизита вместо символа «а» появится символ «в» можно представить в виде [3]

$$P(\epsilon) = \sum_{j=1}^J \varpi(a_j) P_{\Pi}(\epsilon/a_j), \quad (3)$$

где  $\varpi(a_j)$  — вероятность появления истинного символа «а»;  $P_{\Pi}(\epsilon/a_j)$  — вероятность перехода символа «а» в символ «в»;  $J$  — длина алфавита информации.

С учетом выражения (3) можно получить следующую формулу для вероятности совпадения ошибочных символов  $P_{\text{сов}}$ :

$$P_{\text{сов}} = \sum_{i=1}^{J-1} \left[ \sum_{j=1}^J \varpi(a_j) P_{\Pi}(\epsilon/a_j) \right]^2.$$

Значение  $P_{\text{сов}}$  можно определить, если проводится обработка только большого числа видов реквизитов. Для АСПД, в которой осуществляется обработка не только реквизитов, но и информации для расчета маршрута движения ЛА, данный подход является неоправданно сложным, поэтому с достаточной для практики точностью в первом приближении вероятность ошибки второго рода  $P_{\beta}^{\text{П6С}}$  определяется в виде произведения:

$$P_{\beta}^{\text{П6С}} = Q_v^1 Q_v^2,$$

где  $Q_v^1$ ,  $Q_v^2$  — вероятности наличия случайных ошибок в данных в первом и втором объемах контролируемых данных соответственно.

Логический контроль достоверности специфичен в его формальном учете: он проверяет, во-первых, наличие необходимых параметров в массиве данных, во-вторых, нахождение этих параметров в установленных допусках.

Следовательно, вероятность ошибки второго рода  $P_{\beta}^{ЛК}$  для грубых ошибок равна нулю, поскольку все они будут обнаружены, а для остальных ошибок эта вероятность будет равна единице, поскольку все эти «тонкие» ошибки не будут обнаружены. Отсюда следует, что те ТУ, которые содержат только ЛК, не следует учитывать при расчете достоверности данных (учитываются только вероятности появления ошибок, порождаемых элементами этих ТУ).

Следует отметить, что повысить достоверность данных путем повторного применения процедуры синтаксического контроля можно только для процедуры ВК. Это очень важное утверждение, поскольку путем многократного применения этой процедуры можно получить требуемый уровень достоверности подготовки ДД. Очевидно, что для этого необходимо определить необходимую кратность контроля, которая зависит от объема контролируемых данных.

При расчете показателя достоверности ДД не следует учитывать подготовительные операции (настройка ТС, операции доставки носителей к месту их ввода в АСПД, ввод оператором своих атрибутов доступа в систему и т. п.), которые не влияют на значение показателя достоверности.

Структурная схема АСПД представлена на рис. 1. Согласно методу оценки показателя достоверности подготовленных ДД, эту схему необходимо представить в виде последовательного соединения ТУ. Для этого должны быть выделены отдельные процессы подготовки ДД. Одним из таких наиболее важных процессов является процесс загрузки базы данных (БД) АСПД, который будет не только самым сложным, но и самым важным, поскольку используется в качестве иллюстрации применения метода оценки показателя достоверности подготовленных ДД.

Алгоритмы и порядок расчета показателя достоверности ДД для каждого ЭППД<sub>г</sub> одни и те же, поэтому проведенные действия при оценке показателя достоверности данных АСПД на примере расчета показателя достоверности данных элементов ЭППД1 — загрузки (актуализации) БД АСПД — будут приемлемы и для любых ЭППД.

Представление процесса загрузки БД АСПД в виде ТУ показано на рис. 2, где ТУ<sub>СК</sub> — ТУ семантического контроля данных.

Процесс загрузки БД начинается с преобразования документалистом первичных документов (ПДк), которые поступают из системы исходных данных, в форму унифицированной системы документов

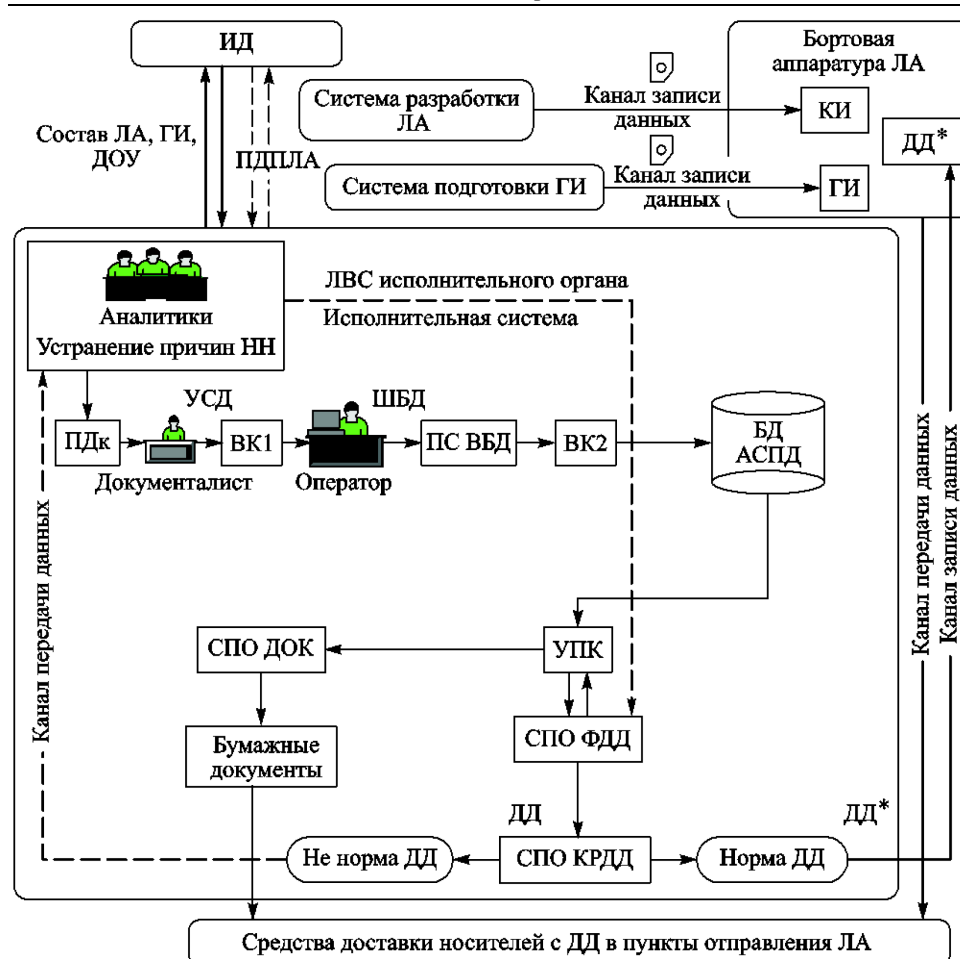


Рис. 1. Структурная схема АСПД:

ГИ — геодезическая информация пунктов отправления ЛА; ДОУ — документы с информацией о составе и характеристиках ЛА; ДД\* — ДД, для которых система контроля выдала положительный результат; ЛВС — локальная вычислительная сеть; КИ — конструкторская информация

(УСД) и осуществления ВК правильности произведенного преобразования. Оператор преобразует переданные ему данные в форме УСД в шаблоны БД (ШБД) и осуществляет ВК правильности выполненного им преобразования. С использованием программных средств ведения БД (ПС ВБД) данные загружаются в БД.

На рис. 2 пунктирные связи между элементами обозначают итеративное выполнение операций. После того как специальное ПО формирования и контроля реализуемости ДД (СПО ФДД-КРДД) выдаст признак «Не норма ДД», эти данные передаются системе ИД. Указанные операции повторяются до тех пор, пока для всех ДД СПО ФДД-КРДД не выдаст признак «Норма ДД».

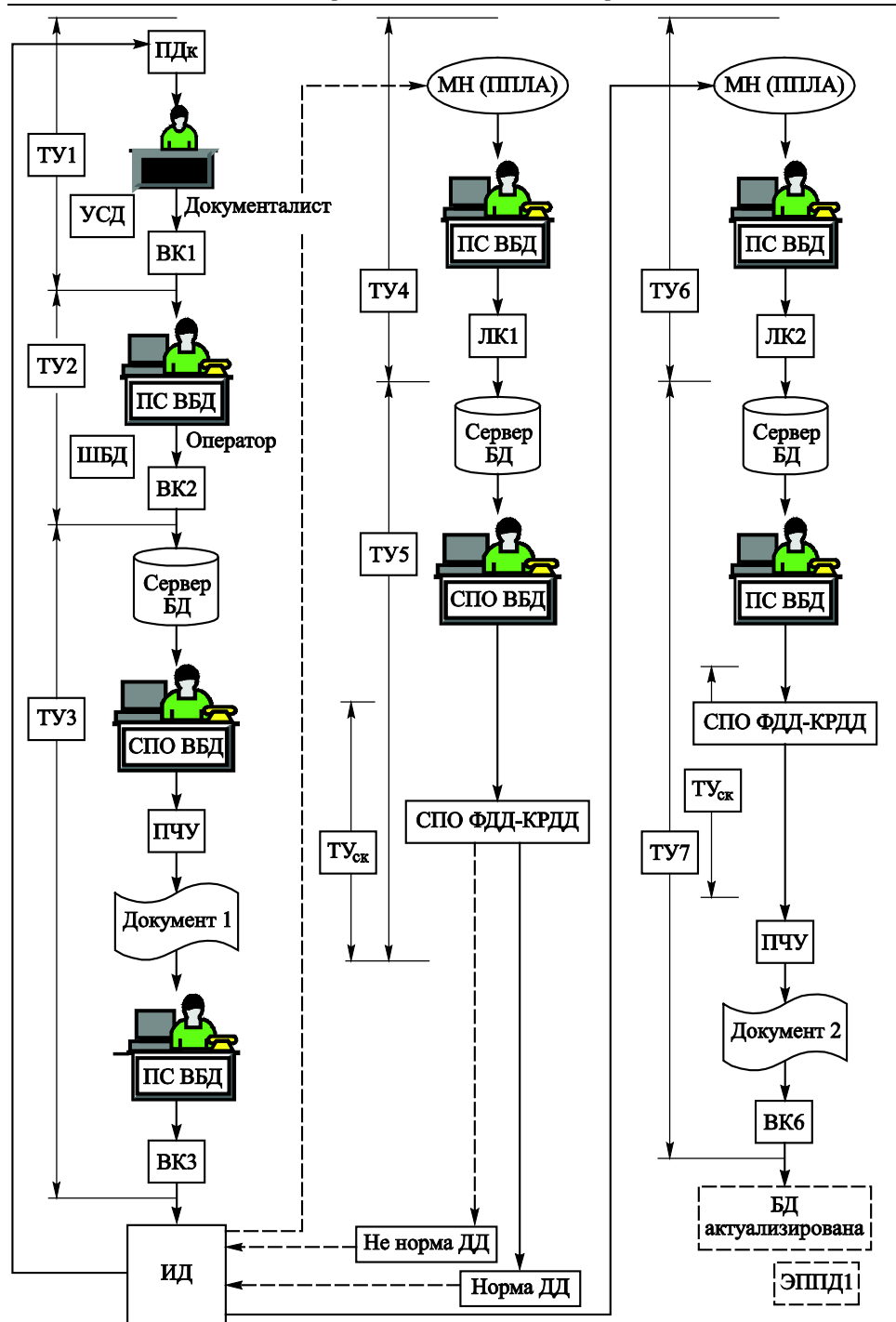


Рис. 2. Процесс актуализации БД АСПД (МН — машинный носитель)



Процесс актуализации БД АСПД можно представить в виде одного ЭППД1, который включает выпуск двух документов:

- «Документ 1» — содержит сведения о пунктах отправления ЛА и характеристики ЛА;
- «Документ 2» — содержит сведения о ППЛА.

Основными видами обрабатываемых данных являются данные ПДк, сведения о пунктах отправления ЛА (ГИ), информация о составе и характеристиках всего множества ЛА (ДОУ), а также конструкторская информация (КИ).

**Расчет показателя достоверности данных достижимости при актуализации БД АСПД.** Для расчета показателя достоверности данных примем следующие условия и предположения, а также ИД (см. таблицу):

- БД АСПД является основным хранилищем информации, и ее актуализация требует обоснования применения средств обеспечения требуемой степени достоверности вводимых и выводимых из нее данных. Этап актуализации БД АСПД, приведенный на рис. 2, является наиболее представительным, поэтому в качестве примера для него проведен подробный расчет текущих и требуемых значений показателя достоверности данных для каждого ТУ в целях сравнения их значений и определения достаточности средств контроля достоверности на каждом ТУ;
- СПО ФДД-КРДД синтаксических ошибок не вносит, поэтому ТУ семантического контроля ( $TU_{СК}$ ) из рассмотрения в плане расчета показателя достоверности данных должны быть исключены;
- расчеты проведены для начальной загрузки ДД в БД АСПД, т. е. для всех ЛА, находящихся в рабочем состоянии с максимальным числом ДД.

**Исходные данные для расчета показателя достоверности этапа актуализации БД АСПД**

Показатель	Технологический участок					
	ТУ1	ТУ2	ТУ3	ТУ5	ТУ6	ТУ7
Объем выходной информации, смв	$U_{всд} = 1500$	$U_{шбд} = 1500$	$U_{док1} = 1500$	$U_{мн} = U_{док2} = 150\ 000$		
Вероятность ошибочных действий документалиста (оператора)	$Q_{ош}^д = 0,006$	$Q_{ош}^о = 0,02$	—	—	—	—
Вероятность ошибки ПС ВБД $1 - P_{ПО}^{(1)}$	—	—	0,001	0,001	0,001	0,001

Показатель	Технологический участок					
	ТУ1	ТУ2	ТУ3	ТУ5	ТУ6	ТУ7
Вероятность ошибки СПО ФДД-КРДД $1 - P_{\text{ПО}}^{(1)}$	–	–	–	0,001	–	0,001
Интенсивность отказов сервера БД, $\lambda_{\text{СБД}}$	–	–	0,001	–	0,001	0,001
Интенсивность отказов АРМ ВБД, $\lambda_{\text{УВВ}}$	–	–	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025
Интенсивность отказов ПЧУ, $\lambda_{\text{ПЧУ}}$	–	–	0,00042	–	–	0,00042
Время печати ПЧУ одного листа $\tau_{\text{ПЧУ}}$ , с	–	–	3	–	–	3

*Примечание.* АРМ — автоматизированное рабочее место.

**Оценка достаточности средств обеспечения достоверности данных на технологическом участке ТУ1.** Выходной информацией ТУ1 являются данные ПДк, приведенные к форме УСД, с объемом данных  $U_{\text{УСД}}$ , источником ошибок на ТУ1 является только документалист.

*Шаг 1.* Определяется условие наличия ровно одной ошибки в выходных данных ТУ1. Это дополнительный алгоритм, который обусловлен условием достоверности каждого массива ДД:

$$U_{\text{УСД}} Q_{\text{ош}}^{\text{Д}} (P_{\beta}^{\text{ВК}})^{n1} = 1, \quad (4)$$

где  $n1$  — кратность ВК.

*Шаг 2.* Проводятся расчеты для оценки требуемого значения кратности  $n$  ВК на ТУ1.

Для этого в выражение (4) подставляют числовые значения необходимых ИД:  $Q_{\text{ош}}^{\text{Д}}$ ,  $U_{\text{УСД}}$ .

В результате получим следующее выражение для определения кратности ВК:

$$(P_{\beta}^{\text{ВК}})^{n1} = \frac{1}{U_{\text{УСД}} Q_{\text{ош}}^{\text{Д}}}.$$

Логарифмируя это выражение, найдем

$$n1 (\ln P_{\beta}^{\text{ВК}}) = \ln 1 - (\ln U_{\text{УСД}} + \ln Q_{\text{ош}}^{\text{Д}}).$$

Учитывая, что  $\ln 1 = 0$ , получаем

$$n1 = \frac{-(\ln U_{\text{УСД}} + \ln Q_{\text{ош}}^{\text{Д}})}{\ln P_{\beta}^{\text{БК}}} \quad (5)$$

Значение требуемой кратности ВК составит

$$n = E\{n1 + 0,5\}, \quad (6)$$

где  $E\{x\}$  — операция округления в бóльшую сторону, поскольку кратность контроля — целое число.

Таким образом, подставляя в формулы (5) и (6) исходные данные, получаем  $n1 = 1,36$  и  $n = 2$ , т. е. на выходе ТУ1 должен использоваться двухкратный ВК форм УСД.

*Шаг 3.* Вычисляется показатель достоверности данных на ТУ1.

Недостоверность данных для ТУ1 составит

$$Q_{\text{ТУ1}} = \left[1 - (1 - Q_{\text{ош}}^{\text{Д}})\right] (P_{\beta}^{\text{БК}})^n = 0,00024.$$

Следовательно, показатель достоверности данных на ТУ1

$$D_{\text{ТУ1}} = 1 - Q_{\text{ТУ1}} = 0,99976.$$

*Шаг 4.* Вычисляется требуемое значение показателя достоверности данных на ТУ1 (это второй дополнительный алгоритм, необходимость которого очевидна):

$$D_{\text{ТУ1}}^{\text{тр}} = 1 - \frac{1}{U_{\text{УСД}}} = 0,99933.$$

*Шаг 5.* Проверяется условие обеспечения требуемой достоверности подготовки данных на ТУ1.

Имеем

$$D_{\text{ТУ1}}^{\text{тр}} = 0,99933 < D_{\text{ТУ1}} = 0,99976.$$

Требуемая достоверность данных на ТУ1 обеспечена.

**Оценка достаточности средств обеспечения достоверности данных на технологическом участке ТУ2.** Выходной информацией ТУ2 являются данные УСД, приведенные к форме ШБД с объемом данных  $U_{\text{ШБД}}$ , источник ошибок на ТУ2 — только оператор.

*Шаг 1.* Определяется условие наличия ровно одной ошибки в выходных данных ТУ2:

$$V_{\text{ШБД}} \left[1 - Q_{\text{ош}}^{\text{О}}\right] (P_{\beta}^{\text{БК}})^{n1} = 1. \quad (7)$$

*Шаг 2.* Проводятся расчеты по оценке требуемого значения кратности ВК на ТУ2 аналогично расчетам, описанным ранее для ТУ1.

Для этого в выражение (7) подставляют числовые значения необходимых ИД:  $U_{\text{ШБД}}$ ,  $Q_{\text{ош}}^0$ .

Выполняя операции, аналогичные описанным для ТУ1, получаем  $n_1 = 2,13$  и  $n = 3$ .

Таким образом, на выходе ТУ2 должен использоваться трехкратный ВК форм ШБД.

*Шаг 3.* Вычисляется показатель достоверности данных на ТУ2. Недостоверность данных для ТУ2

$$Q_{\text{ТУ2}} = \left[ 1 - (1 - Q_{\text{ТУ1}})(1 - Q_{\text{ош}}^0) \right] (P_{\text{В}}^{\text{БК}})^n = 0,00016.$$

Показатель достоверности данных на ТУ2

$$D_{\text{ТУ2}} = 1 - Q_{\text{ТУ2}} = 0,99984.$$

*Шаг 4.* Вычисляется требуемое значение показателя достоверности данных на ТУ2:

$$D_{\text{ТУ2}}^{\text{ТР}} = 1 - \frac{1}{U_{\text{ШБД}}} = 0,99933.$$

*Шаг 5.* Проверяется условие обеспечения требуемой достоверности подготовки данных на ТУ2.

Имеем

$$D_{\text{ТУ2}}^{\text{ТР}} = 0,99933 < D_{\text{ТУ2}} = 0,99984.$$

Требуемая достоверность данных на ТУ2 обеспечена.

**Оценка достаточности средств обеспечения достоверности данных на ТУ3.** Выходной информацией ТУ3 являются данные «Документа 1» (док 1) с объемом данных  $U_{\text{док1}}$  (объем данных на одном листе  $n_{\text{л}} = 50$  смв).

*Шаг 1.* Определяется число листов «Документа 1»

$$n_{\text{ПЧУ}}^3 = \frac{U_{\text{док1}}}{n_{\text{л}}} = 30 \text{ листов.}$$

Время работы ПЧУ:

$$t_{\text{ПЧУ}}^3 = \frac{n_{\text{ПЧУ}}^3 \tau_{\text{ПЧУ}}}{3600} = 0,025 \text{ ч.}$$

Время работы сервера БД:

$$t_{\text{СБД}}^3 = \frac{U_{\text{док1}}}{V_{\text{СБД}}} = 0,0015 \text{ ч.}$$

Время работы АРМ ВБД:

$$t_{\text{УВВ}}^3 = \frac{U_{\text{док1}}}{V_{\text{УВВ}}} = 0,0015 \text{ ч.}$$

По формуле (2) определяются вероятности наличия отказа ТС ТУ3:

$$D_{\text{СБД}} = 0,999999999; D_{\text{УВВ}} = 0,999999999; D_{\text{ПЧУ}} = 0,9999895.$$

*Шаг 2.* Определяется условие наличия ровно одной ошибки в выходных данных ТУ3:

$$U_{\text{док1}} \left[ 1 - D_{\text{ТУ2}} P_{\text{ПО}}^{(1)} D_{\text{УВВ}} D_{\text{СБД}} D_{\text{ПЧУ}} \right] \left( P_{\beta}^{\text{БК}} \right)^{n1} = 1. \quad (8)$$

*Шаг 3.* Проводятся расчеты по оценке требуемого значения кратности ВК на ТУ3 по формуле (8).

Выполняя операции, аналогичные описанным ранее для ТУ1, получаем  $n1 = 0,38$  и  $n = 1$ .

Таким образом, на выходе ТУ3 должен использоваться однократный ВК «Документа 1».

*Шаг 4.* Вычисляется показатель достоверности данных на ТУ3. Недостоверность данных для ТУ3:

$$Q_{\text{ТУ3}} = \left[ 1 - D_{\text{ТУ2}} P_{\text{ПО}}^{(1)} D_{\text{УВВ}} D_{\text{СБД}} D_{\text{ПЧУ}} \right] \left( P_{\beta}^{\text{БК}} \right)^n = 0,000234.$$

Показатель достоверности данных на ТУ3:

$$D_{\text{ТУ3}} = 1 - Q_{\text{ТУ3}} = 0,99977.$$

*Шаг 5.* Вычисляется требуемое значение показателя достоверности данных на ТУ3:

$$D_{\text{ТУ3}}^{\text{тп}} = 1 - \frac{1}{U_{\text{док1}}} = 0,99933.$$

*Шаг 6.* Проверяется условие обеспечения требуемой достоверности подготовки данных на ТУ3.

Имеем

$$D_{\text{ТУ3}}^{\text{тп}} = 0,99933 < D_{\text{ТУ3}} = 0,99977.$$

Требуемая достоверность данных на ТУ3 обеспечена.

Далее протекает итерационный процесс подготовки ППЛА до тех пор, пока для всех ЛА СПО ФДД-КРДД не выдаст признак «Норма».

**Оценка достаточности средств обеспечения достоверности данных на технологических участках ТУ4, ТУ5 и ТУ6.** Для существующей схемы процесса подготовки ДД по формальным признакам выделены технологические участки ТУ4, ТУ5 и ТУ6.

Однако ТУ4 и ТУ6 содержат только процедуру ЛК, которая исключает лишь грубые ошибки, а остальные ошибки пропускает.

На ТУ6 не предусмотрен контроль достоверности данных и только на ТУ7 осуществляется ВК ДПЛА. При этом не исключена ситуация, когда синтаксическая ошибка может привести к значительным негативным последствиям. Например, искажение номера пункта прибытия может привести ЛА к другому пункту, до которого он может и не долететь, хотя СПО ФДД-КРДД выдаст признак «Норма». В связи с этим целесообразно все указанные ТУ считать в качестве одного ТУ–ТУ7\*.

**Оценка достаточности средств обеспечения достоверности данных на технологическом участке ТУ7\*.** Выходной информацией ТУ7\* являются данные «Документа 2» (док2) с объемом данных  $U_{\text{док2}}$  (объем данных на одном листе  $n_{2\text{Л}} = 1680$  смв).

*Шаг 1.* Определяется число листов «Документа 2»:

$$n_{\text{ПЧУ}}^{7*} = \frac{U_{\text{док2}}}{n_{2\text{Л}}} = 90 \text{ листов.}$$

Время работы ПЧУ:

$$t_{\text{ПЧУ}}^{7*} = \frac{n_{\text{ПЧУ}}^{7*} \tau_{\text{ПЧУ}}}{3600} = 0,075 \text{ ч.}$$

*Шаг 2.* По формуле (2) определяется вероятность наличия отказа ТС на ТУ5:

$$D_{\text{УВВ}}^5 = D_{\text{УВВ}}^6 = D_{\text{УВВ}}^7 = 0,999999989;$$

$$D_{\text{СБД}}^6 = D_{\text{СБД}}^7 = 0,999999958; \quad D_{\text{ПЧУ}}^7 = 0,9999685.$$

*Шаг 3.* Определяется условие наличия ровно одной ошибки в выходных данных ТУ7\*:

$$U_{\text{док2}} \left[ 1 - \left( P_{\text{ПО}}^{(1)} \right)^4 D_{\text{УВВ}}^5 D_{\text{УВВ}}^6 D_{\text{УВВ}}^7 D_{\text{СБД}}^6 D_{\text{СБД}}^7 D_{\text{ПЧУ}}^7 \right] \left( P_{\beta}^{\text{ВК}} \right)^{n1} = 1. \quad (9)$$

*Шаг 4.* Проводятся расчеты по оценке требуемого значения кратности ВК на ТУ7\* по формуле (9).

Выполняя операции, аналогичные описанным в ранее для ТУ1, получаем  $n1 = 3,97$  и  $n = 5$ .

Таким образом, на выходе ТУ7\* должен использоваться пятикратный ВК «Документа 2».

*Шаг 5.* Вычисляется показатель достоверности данных на ТУ7\*.

Недостоверность данных для ТУ7\*  $Q_{\text{ТУ7}^*} = 0,00000128$ , показатель достоверности данных на ТУ7\*  $D_{\text{ТУ7}^*} = 0,9999987$ .

Шаг 6. Вычисляется требуемое значение показателя достоверности данных на ТУ7\*:

$$D_{ТУ7}^{ТР} = 1 - \frac{1}{U_{\text{док}2}} = 0,9999933.$$

Шаг 7. Проверяется условие обеспечения требуемой достоверности подготовки данных на ТУ7\*:

$$D_{ТУ7}^{ТР} = 0,9999933 < D_{ТУ7}^* = 0,9999987.$$

Требуемая достоверность данных на ТУ7\* обеспечена.

Оценка значения показателя достоверности ДД на каждом ТУ проводилась в соответствии с моделью «Наличие ровно одной ошибки в данных». Это чисто математический прием получения требуемого результата. Возникает вопрос (например, для ТУ7\*): если значение оцененного показателя достоверности  $D_{ТУ7}^* = 0,99999995$  соответствует наличию ровно одной ошибки в данных, а требуется, чтобы в подготовленных ДД не содержалось ни одной ошибки, то чему же равна эта вероятность? Вероятный ответ — больше 0,999999999, который порождает другой вопрос: а насколько больше?

Ответ неожиданный — этот показатель соответствует отсутствию ошибки в подготовленных ДД, поскольку контролю подвергается весь объем данных и наличие в нем ошибки будет обнаружено с вероятностью 0,999999999, а это практически достоверное событие.

**Заключение.** Рассмотрен новый метод оценки достоверности данных полета ЛА. Основу метода составляет представление процесса подготовки данных в виде последовательного соединения во времени ТУ. Метод позволяет получить адекватные ИД, вычислить значения показателя достоверности на каждом ТУ и оценить правильность предлагаемых проектных решений при разработке системы. Метод проиллюстрирован конкретным примером.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Трапезников В.А. *Управление и научно-технический прогресс*. Москва, Наука, 1983, 224 с.
- [2] Трапезников В.А. Автоматическое управление и экономика. *Автоматика и телемеханика*, 1966, вып. 1, с. 5–22.
- [3] Мельников Ю.Н. *Достоверность информации в сложных системах*. Москва, Сов. радио, 1973, 192 с.
- [4] Кульба В.В., Шевцов А.Р. Методы анализа и синтеза систем обеспечения достоверности информации в АСУ. *Автоматика и телемеханика*, 1994, вып. 8, с. 154–164.
- [5] Мамиконов А.Г., Кульба В.В., Шелков А.Б. *Достоверность, защита и резервирование информации в АСУ*. Москва, Энергоатомиздат, 1986, 304 с.
- [6] Пивоваров А.Н. *Методы обеспечения достоверности информации в АСУ: обзор методов и фактические данные*. Москва, Радио и связь, 1982, 144 с.

- [7] Монахов М.Ю., Монахов Ю.М., Полянский Д.А., Семенова И.И. *Модели обеспечения достоверности и доступности информации в информационно-телекоммуникационных системах*. Монография. Владимир, Изд-во ВлГУ, 2015, 208 с.
- [8] Монахов М.Ю., Семенова И.И., Полянский Д.А., Монахов Ю.М. Особенности среды обеспечения достоверности информации в информационно-телекоммуникационных системах. *Фундаментальные исследования*, 2014, № 9 (часть 11), с. 2403–2407.
- [9] Пьявченко Т.А., Финаев В.И. *Автоматизированные информационно-управляющие системы*. Таганрог, Изд-во ТРТУ, 2007, 271 с.
- [10] Волик Б.Г., Буянов Б.Б., Лубков Н.В. и др. *Методы анализа и синтеза структур управляющих систем*. Москва, Энергоатомиздат, 1988, 296 с.
- [11] Месарович М., Мако Д., Такахара И. *Теория иерархических многоуровневых систем*. Москва, Мир, 1973, 344 с.
- [12] Алексеев В.А., Яковлев Д.С., Тачков А.А. Моделирование иерархической системы управления группой наземных робототехнических средств. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2018, вып. 4. DOI: 10.18698/2308-6033-2018-4-1754
- [13] Евгенев Г.Б. Sprut ExPro – средство генерации многоагентных систем проектирования в машиностроении. Часть 2. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2017, № 7, с. 60–71.
- [14] Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Методы оценки показателя информационной устойчивости автоматизированной системы управления полетами космических аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2016-6-1505
- [15] Казаков Г.В., Сахаров А.В. *Анализатор стойкости алгоритмов контрольного суммирования*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617757 от 14 июля 2016 г.

Статья поступила в редакцию 25.01.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Метод оценки показателя достоверности выходных данных, подготавливаемых средствами автоматизированной системы подготовки данных полета летательных аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 4. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-4-1868>

**Андреев Анатолий Георгиевич** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России. Автор более 70 работ в области надежности автоматизированных систем управления. e-mail: [kgv.64@mail.ru](mailto:kgv.64@mail.ru)

**Казаков Геннадий Викторович** — канд. техн. наук, доцент, начальник управления ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России, почетный работник науки и техники Российской Федерации. Автор более 70 работ в области надежности автоматизированных систем управления. e-mail: [kgv.64@mail.ru](mailto:kgv.64@mail.ru)

**Корянов Всеволод Владимирович** — канд. техн. наук, доцент, первый заместитель заведующего кафедрой «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 публикаций. e-mail: [vkoryanov@bmstu.ru](mailto:vkoryanov@bmstu.ru)



## Method for assessing the reliability of the output data prepared by automated system for aircraft flight data preparation

© A.G. Andreev<sup>1</sup>, G.V. Kazakov<sup>1</sup>, V.V. Koryanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”, Korolyov town, Moscow region, 141091, Russia

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*Methods for solving the problem of ensuring the reliability of information have been considered in the works of many domestic and foreign scientists. Nevertheless, when performing some tasks of automation of the activity of the personnel of the governing bodies, it may be difficult to calculate the required value of data reliability due to the complexity of the algorithms for calculating the confidence indicator and difficulties in obtaining adequate input data. A new method for assessing the reliability of aircraft flight data is considered on the basis of the special representation of the data preparing process as a serial connection of technological sections in time and calculating the reliability indicators for each element of the technological section and the technological section as a whole. The structure of a typical technological section includes a documentalist, an operator, hardware, software and a procedure for correcting erroneous data detected by the control procedure. The use of such a process model allows obtaining a simple recurrent algorithm for estimating the data reliability index for any technological section using the reliability index values for the previous technology sections. Having determined the probabilities of data distortion and the time of operation performing by elements of the technological section, it is possible to calculate the values of similar indicators for each elementary data preparation process and the system as a whole. An elementary data preparation process, the essence of which is to update the system database is considered as an example. This stage is the most representative one, since all elements of the technological section are involved in its implementation.*

**Keywords:** *automated system, database, reachability data, visual control, logical control, control multiplicity, aircraft, flight plan, data preparation, technological section, elementary process*

### REFERENCES

- [1] Trapeznikov V.A. *Upravlenie i nauchno-tehnicheskii progress* [Management and technological progress]. Moscow, Nauka Publ., 1983, 224 p.
- [2] Trapeznikov V.A. *Avtomatika i telemekhanika — Automation and Remote Control*, 1966, no. 1, pp. 5–22.
- [3] Melnikov Yu.N. *Dostovernost informatsii v slozhnykh sistemakh* [Reliability of information in complex systems]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1973, 192 p.
- [4] Kulba V.V., Shevtsov A.R. *Avtomatika i telemekhanika — Automation and Remote Control*, 1994, no. 8, pp. 154–164.
- [5] Mamikonov A.G., Kulba V.V., Shelkov A.B. *Dostovernost, zaschita i rezervirovanie informatsii v ASU* [Reliability, protection and information backup in automated control systems]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986, 304 p.
- [6] Pivovarov A.N. *Metody obespecheniya dostovernosti informatsii v ASU: obzor metodov i fakticheskie dannue* [Methods ensuring the accuracy of information in the ACS: a review of methods and actual data]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1982, 144 p.

- [7] Monakhov M.Yu., Monakhov Yu.M., Polyansky D.A., Semenova I.I. *Modeli obespecheniya dostovernosti i dostupnosti informatsii v informatsionno-telekommunikatsionnykh sistemakh*. Monografiya [Models ensuring information reliability and availability in information and telecommunication systems. Monograph]. Vladimir, Vladimirskiy gosudarstvennyy universitet Publ., 2015, 208 p.
- [8] Monakhov M.Yu., Semenova I.I., Polyansky D.A., Monakhov Yu.M. *Fundamentalnye issledovaniya — Fundamental research*, 2014, no. 9 (part 11), pp. 2403–2407.
- [9] Pyavchenko T.A., Finaev V.I. *Avtomatizirovannye informatsionno-upravlyayuschie sistemy* [Automated information management systems]. Taganrog, Taganrogskiy gosudarstvennyy radiotekhnicheskiy universitet Publ., 2007, 271 p.
- [10] Volik B.G., Buyanov B.B., Lubkov N.V., et al. *Metody analiza i sinteza upravlyayuschikh sistem* [Methods of analysis and synthesis of control system structures]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 296 p.
- [11] Mesarović M., Mako D., Takahara Y. Theory of Hierarchical Multilevel Systems. New York, Academic Publ., 1970, 294 p. [In Russ.: Mesarović M., Mako D., Takahara Y. Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh system. Moscow, Mir Publ., 1973, 344 p.].
- [12] Alekseev V.A., Yakovlev D.S., Tachkov A.A. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2018, iss. 4. DOI: 10.18698/2308-6033-2018-4-1754
- [13] Evgenev G.B. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2017, no. 7, pp. 60–71.
- [14] Andreev A.G., Kazakov G.V., Koryanov V.V. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2016, iss. 6. DOI: 10.18698/2308-6033-2016-6-1505
- [15] Kazakov G.V., Sakharov A.V. *Analizator stoykosti algoritmov kontrolnogo summirovaniya* [Analyzer of the of check summation algorithm strength]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM No. 2016617757 ot 14 iyulya 2016 g. [Certificate of state registration of computer program no. 2016617757 dated July 14, 2016].

**Andreev A.G.**, Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”. Author of over 70 research publications in the field of reliability of automated control systems.  
e-mail: kgv.64@mail.ru

**Kazakov G.V.**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Head of Department, FSBI “The 4th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation”. Author of over 70 research publications in the field of reliability of automated control systems.  
e-mail: kgv.64@mail.ru

**Koryanov V.V.**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, First Deputy Head of the Department of Dynamics and Flight Control of Rockets and Spacecrafts, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 40 research publications.  
e-mail: vkoryanov@bmstu.ru