Аркадий И. Фрид¹, Алексей М. Вульфин², Виктория В. Берхольц³

Уфимский государственный авиационный технический университет,
ул. Карла Маркса, 12, Уфа, 450000, Россия

¹e-mail: frid46@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6129-6875>

²e-mail: vulfin.alexey@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5857-2413>

³e-mail: torina4@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8065-7197>

СПОСОБ МОНИТОРИНГА ЦЕЛОСТНОСТИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ДВИГАТЕЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2020.4.06>

Аннотация. В статье представлен способ мониторинга целостности телеметрических данных о состоянии мобильного объекта, а именно, двигателя летательного аппарата, на основе сравнения технологических временных рядов. Технологические временные ряды, полученные с мобильного объекта, сравниваются с технологическими временными рядами, генерируемыми моделью мобильного объекта на предприятии-разработчике (изготовителе). Сравнение временных рядов осуществляется в выбранном временном окне за счет вычисления параметров согласованности: коэффициент детерминации, евклидово расстояние и средний процент отклонений. По вычисленным параметрам согласованности определяется тип согласованности в данном временном окне (7 типов), а также определяется тип динамики мобильного объекта: статический или динамический. Решение о целостности данных принимается по сформулированным правилам нечеткой логики, которые опираются на три параметра: тип динамики мобильного объекта, тип согласованности технологических временных рядов и сигнале системы контроля. Тестирование предложенного способа проводилось на данных, генерируемых системой автоматического управления двигателя летательного аппарата. Оценка вероятности правильности принятого решения составила 0,85.

Ключевые слова: двигатель летательного аппарата, телеметрия, целостность данных, инсайдер, временные ряды, близость временных рядов.

Для цитирования: ФРИД, Аркадий И.; ВУЛЬФИН, Алексей М.; БЕРХОЛЬЦ, Виктория СПОСОБ МОНИТОРИНГА ЦЕЛОСТНОСТИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ДВИГАТЕЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА. Безопасность информационных технологий, [S.l.], v. 27, n. 4, p. 65–76, 2020. ISSN 2074-7136. Доступно на: <<https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1307>>. Дата доступа: 18 nov. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2020.4.06>.

***Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-08-00668.

Arkadii I. Frid¹, Aleksei M. Vulfin², Viktoriya V. Berkholts³

Ufa State Aviation Technical University,
12, Karl Marks str., Ufa, 450008, Russia

¹e-mail: frid46@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6129-6875>

²e-mail: vulfin.alexey@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5857-2413>

³e-mail: torina4@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8065-7197>

The method of aviation gas turbine engine state information integrity monitoring*

DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2020.4.06>

Abstract. The paper presents a method for monitoring the integrity of telemetric data on the state of a mobile object, namely, an aircraft engine, based on a comparison of technological time series. The technological time series obtained from the mobile object are compared with the technological time series generated by the model of the mobile object at the developer (manufacturer). Comparison of time series is carried out in the selected time window by calculating the consistency parameters: the coefficient of determination, Euclidean distance and the average percentage of deviations. According to the calculated

consistency parameters, the type of consistency in a given time window (7 types) is determined, and the type of dynamics of the mobile object is also determined: static or dynamic. The decision on data integrity is made according to the formulated rules of fuzzy logic, which are based on three parameters: the type of dynamics of the mobile object, the type of consistency of technological time series and the signal of the control system. Testing of the proposed method was carried out on the data generated by the automatic control system of the aircraft engine. The estimate of the probability of the correctness of the decision made was 0.85.

Keywords: aircraft engine, telemetry, data integrity, insider, time series, time series proximity.

For citation: FRID, Arkadii I.; VULFIN, Aleksei M.; BERKHOLTS, Viktoriya V. Protection of the data integrity in telemetry systems about the state of mobile objects. *IT Security (Russia)*, [S.l.], v. 27, n. 4, p. 65–76, 2020. ISSN 2074-7136. Available at: <<https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1307>>. Date accessed: 18 nov. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2020.4.06>.

***Acknowledgement.** The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of scientific project No. 20-08-00668.

Введение

Требования к безопасности мобильных объектов обязывают регистрировать и хранить данные об их состоянии с помощью бортовых контрольных устройств и самописцев. Подобные требования распространяются как на наземный транспорт в соответствии с приказом Минтранса России от 13 февраля 2013 г. № 36 «Об утверждении требований к тахографам, устанавливаемым на транспортные средства, категорий и видов транспортных средств, оснащаемых тахографами, правил использования, обслуживания и контроля работы тахографов, установленных на транспортные средства», так и на воздушный транспорт в соответствии с приказом Минтранса РФ от 31 июля 2009 г. N 128 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации». Обеспечение работоспособности систем передачи данных об объекте – телеметрической информации (ТМИ), является одной из важных задач обеспечения эффективного функционирования мобильного объекта. Возможность передачи ТМИ о мобильном объекте (МО), сгенерированной в процессе эксплуатации, на предприятие-разработчик (изготовитель) (ПР) позволяет более эффективно осуществлять техническое обслуживание МО, проводить своевременный ремонт, а также проводить расследование при возникновении аварийных ситуаций и других инцидентов, происходящих в процессе эксплуатации. В данной статье в качестве исследуемого МО представлен двигатель летательного аппарата (ЛА).

Обязательная передача ТМИ о состоянии отдельных компонентов ЛА в конструкторское бюро является необходимым условием для поддержания полного жизненного цикла сложного технического изделия (СТИ). Так, ГОСТ Р 55255-2012 «Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Организация работ по диагностике технического состояния авиационной техники говорит о необходимости передачи информации о состоянии ЛА и его отдельных элементов между станциями технического обслуживания и промышленностью (пункт 6.2.2 г.)».

Передача ТМИ для анализа ее инженерами и персоналом по техническому обслуживанию. является одним из направлений совершенствования перспективных бортовых систем [1–4], и позволяет ПР получить конкурентное преимущество. Актуальной является проблема построения защищенных систем сбора, хранения и обработки данных о состоянии мобильного объекта в подобных системах [5].

Рассмотрим существующие методики контроля целостности данных.

1. Традиционные (общепринятые) методики защиты целостности:

ХЭШ-суммы, RAID-массивы, электронно-цифровая подпись (ЭЦП). Перечисленные способы обеспечения целостности не анализируют передаваемый контент. Внутренний злоумышленник, инсайдер, например, находящийся на станции ТО, может подвергнуть данные модификациям, после чего вычислить ХЭШ-функцию и передать ложную информацию вместе с контрольной суммой, или же подписать ложные данные с помощью ЭЦП.

2. Методики контроля целостности, учитывающие специфику сферы применения:

А) Обнаружение нарушений целостности навигационного поля пеленгационным методом контроля [6]. В данной методике предполагается контролировать целостность получаемых координат навигационных объектов при помощи вычисления координат пеленгационным методом и сравнения этих координат. Этот способ учитывает передаваемый контент, а также основан на сравнении получаемых данных и вычисляемых эталонных данных. Недостатком данного способа является узкий диапазон применения.

Б) В работе [7] применяется подход, основанный на анализе функциональных зависимостей в исследуемом объекте и расчете контрольных значений, на сравнении которых выносится решение о целостности данных. Такой подход уместен, если модель объекта описывается рядом простых моделей. Если же МО является многокомпонентным и связь его компонентов описывается математически нетривиальными способами, параметры МО характеризуются многомерностью и нелинейностью, простое сравнение контрольных значений с точностью до погрешности недостаточно.

Таким образом, необходимо построить систему мониторинга целостности, которая бы принимала решение о наличии или отсутствии вмешательства в данные на основе близости технологических временных рядов.

Мониторинг целостности данных, получаемых с мобильного объекта на ПР (изготовитель), ранее рассматривался авторами в [8]. Данный способ основывался на сравнении технологических временных рядов (ТВР), характеризующих поведение параметров мобильного объекта и модели этого же объекта, установленной на предприятии. Сравнение двух ТВР основывалось на вычислении коэффициента корреляции и детерминации и среднего процента отклонения, получении сигнала системы контроля исправности мобильного объекта и определении его режима работы.

Недостатком такого подхода стала низкая вероятность обнаружения вмешательства инсайдера, обусловленная тем, что для определения режима работы объекта использовался алгоритм кластеризации. Автоматическая классификация более, чем на два класса, не позволяет с высокой точностью определить режим работы объекта, что может привести к уменьшению вероятности обнаружения вмешательства злоумышленника. Сложная реализация алгоритма кластеризации режимов работы объекта требует дополнительных вычислительных ресурсов. Дополнительным фактором, снижающим вероятность обнаружения вмешательств злоумышленника, является то, что оба коэффициента корреляции и детерминации, иллюстрируют долю дисперсии, таким образом, согласованность ТВР фактически определяется только по двум параметрам: доле дисперсии и среднему проценту отклонения, что приводит к уменьшению точности оценки согласованности ТВР.

Целью данной статьи является повышение вероятности принятия правильного решения об установлении факта атаки на целостность данных.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать классификатор режима работы мобильного объекта, отличающий только два режима.

2. Разработать систему правил для блока принятия решения.

1. Система мониторинга целостности данных о состоянии мобильного объекта

Предлагаемая система мониторинга целостности данных, получаемых с эксплуатируемого мобильного объекта, основана на выделении в автоматическом режиме особенностей ТВР [4, 5].

Блок принятия решений о состоянии канала передачи данных с мобильного объекта на ПР обеспечивает обработку ТВР, генерируемых на эксплуатируемом мобильном объекте, и проводит сравнение этих данных с данными, генерируемыми моделью на предприятии [9].

На рис. 1 приведена структурная схема мониторинга целостности данных, получаемых с бортовых систем мобильного объекта.

В систему управления мобильным объектом поступает вектор F , характеризующий свойства внешней среды, например, температура и давление за бортом ЛА. Вектором E обозначены дополнительные эксплуатационные факторы [9].

Исходящими из объекта управления являются векторы Y и X . Вектор Y включает в себя параметры регулирования мобильным объектом. Вектор X включает характеристики мобильного объекта, например, расход топлива, рабочая температура, давление в рабочей зоне и т.п. В систему управления мобильным объектом поступает вектор управляющих воздействий U , формируемый системой управления. Система контроля мобильного объекта формирует сигнал о состоянии системы управления (исправна $K=1$ /неисправна $K=0$).

Векторы X , Y , K , F , E направляются через канал передачи данных на предприятие-изготовитель. Канал подвергается воздействию внешних факторов и шуму, воздействие которых обозначено вектором N .

Рис. 1 Структурная схема мониторинга целостности данных, получаемых с бортовых систем мобильного объекта

(Fig. 1. Block diagram for the method of monitoring the integrity of data received from the mobile object systems)

На ПР модель мобильного объекта по параметрам работы (векторы E и F генерирует сигналы Y_M (аналог вектора Y), X_M (аналог вектора X), исходящие из модели

объекта управления, и UM -вектор регулирующих воздействий модели мобильного объекта. Векторы X , Y , YM , XM , сигнал системы контроля K являются входными данными для блока принятия решения (БПР). В блоке проверяется близость временных рядов X , Y , YM , XM на основе вычисления метрик близости и анализируется состояние системы контроля K .

Выходом БПР является принятое решение R о целостности данных: 1 или 0 в зависимости от наличия или отсутствия несанкционированных модификаций злоумышленником, а также произошел ли отказ в оборудовании. Кроме того, можно получить оценку вероятности (степень уверенности) в принятом решении (P) [10].

2. Реализация системы мониторинга целостности ТМИ на примере системы управления авиационным газотурбинным двигателем

В качестве мобильного объекта рассмотрен газотурбинный двигатель (ГТД) ЛА его система автоматического управления (САУ). На рис. 2 приведена структурная схема блока принятия решений о состоянии целостности принимаемых данных

Данная система отличается от системы [10] реализацией классификатора режима работы мобильного объекта, а именно системы автоматического управления ГТД. На выходе блока формируется решение о том, в каком режиме находится модель САУ ГТД: установившемся или переходном. [11].

На вход классификатора режима САУ ГТД поступают производная частоты вращения ротора высокого давления и сигнал с выхода селектора минимального значения рассогласований управляемых параметров двигателя, являющегося элементом САУ ГТД [12], вычисляют абсолютные значения этих величин и сравнивают их с пороговыми значениями. Режим считается установившимся, если выполняется следующее условие:

$$\{|\Delta x| \leq x_0\} \wedge \{|\dot{n}_2| \leq \dot{n}_{20}\} = 1, \quad (1)$$

где Δx – выход сектора минимума, $x_0 = 0,2\%$ от регулируемого в настоящий момент параметра, $\dot{n}_2$ – это производная частоты вращения ротора высокого давления, $\dot{n}_{20} = (0,05 - 0,1\%) n_{2 \max}/c$. Для конкретных САУ ГТД эти значения могут отличаться от указанных.

Рис. 2. Структурная схема блока принятия решений о целостности принимаемых данных
(Fig. 2. Block diagram of the block for making decisions on the state of TMI)

Если условие (1) не выполняется, то режим САУ ГТД считается переходным. В случае, если в выбранном временном окне встречаются и переходный, и установившийся режимы, то считают, что в данном временном окне САУ ГТД находится в переходном состоянии.

Оценка близости ТВР осуществляется с помощью набора метрик: коэффициент детерминации, средний процент отклонения (MAPE) [12] и евклидово расстояние [13].

Тестирование представленного способа проводилось на данных, представляющих два типа технологических временных рядов: ТВР, полученных с модели, и ТВР, полученных с ЛА. На ТВР, полученных с ЛА, с учетом реальных помех, возникающих при передаче данных, а также симулировались различные случаи нарушения целостности злоумышленником [14]. В общем случае подобные воздействия в момент времени t можно описать следующим выражением:

$$x(t) = \varepsilon(t) * (\varphi(x'(t))), \quad (2)$$

где $x(t)$ – значение принимаемого параметра САУ ГТД, $\varepsilon(t)$ – шум, накладываемый на сигнал, $x'(t)$ – передаваемое значение параметра САУ ГТД, $\varphi(x'(t))$ – воздействие внутреннего злоумышленника на передаваемое значение параметра САУ ГТД.

Нарушитель может осуществлять следующие действия по внесению модификаций в ТМИ и нарушению целостности [15, 16]:

- подмен передающей/принимающей станции – подавление сигнала истинной радиостанции и передача поддельной информации с ложной радиостанции станции;
- передача модифицированных данных по каналу передачи – упаковка модифицированной ТМИ в пакет и отправка на ПИ;
- многократное отправление ранее перехваченных данных по каналу связи.

Для описания правил при принятии решения о целостности данных были введены лингвистические переменные, характеризующие каждый из параметров согласованности, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Лингвистические переменные

Термы лингвистических переменных	Коэф. Детерминации	Евклидово расстояние	MAPE
низкий	$x < 0.6$	$x > 3$	$x > 15$
средний	$0.6 < x < 0.8$	$1 < x < 3$	$10 < x < 15$
высокий	$x > 0.8$	$x < 1$	$x < 10$

Для формирования правил нечеткой логики необходимо выделить типы согласования ТВР. При текущем количестве метрик близости ТВР (3 метрики) будем руководствоваться следующими правилами компоновки

1. Объединим в первый тип метрики, если хотя бы 2 из них относятся к категории «высокий», и лишь одна может принимать значение «средний».
2. Объединим во второй тип метрики, если одна из них принимает значение «высокий», а две другие принимают значение «средний».
3. Объединим метрики в третий тип, если все они принимают значение «средний», или их среднее лингвистическое состояние тоже можно охарактеризовать как средний
4. Объединим в четвертый тип согласованности метрики так, чтобы две из них принимали значение «средний», и только одна принимала значение «низкий»
5. Объединим в пятый тип метрики, если есть комбинация значения метрик «высокий» и «низкий»

6. Объединим в 6-й тип метрики, значение которых «низкий» и «средний». При этом, ни одна метрика не принимает значение «высокий».

Такое распределение метрик близости ТВР покрывает все возможные комбинации (27 комбинаций) при текущем количестве метрик. Однако, существуют режимы работы ГТД, при которых коэффициент детерминации может принимать значение NaN («Not a number», «нечисло») – несуществующее значение при постоянном значении параметра в текущем окне временного ряда. Для такого состояния коэффициента детерминации и при высоких показателях других метрик близости выделим отдельный 7-й тип согласованности, а также внесем такое состояние в другие типы согласованности.

При решении задачи кластеризации на типы согласованности, описанные 7 типов представлены в табл. 2

Таблица 2. Типы согласованности

Козф. Детерминации	Евклидово расстояние	MAPE	Тип согласования ТВР
высокий	высокий	Высокий	1 тип
высокий/NaN	высокий	Средний	
высокий/NaN	средний	Высокий	
средний/NaN	высокий	Высокий	
высокий/NaN	средний	Средний	2 тип
средний/NaN	высокий	Средний	
средний/NaN	средний	Высокий	
высокий/NaN	низкий	Средний	3 тип
высокий/NaN	средний	Низкий	
низкий/NaN	высокий	Средний	
низкий/NaN	средний	Высокий	
средний/NaN	средний	Средний	
средний/NaN	низкий	Средний	4 тип
средний/NaN	средний	Низкий	
низкий/NaN	средний	Средний	
высокий/NaN	низкий	Низкий	5 тип
низкий/NaN	высокий	Высокий	
низкий/NaN	низкий	Высокий	
высокий/NaN	высокий	Низкий	
низкий/NaN	высокий	Низкий	
высокий/NaN	низкий	Высокий	
средний/NaN	низкий	Низкий	6 тип
низкий/NaN	средний	Низкий	
низкий/NaN	низкий	Низкий	
низкий/NaN	низкий	Средний	
NaN	высокий	Высокий	7 тип

БПР реализует набор правил, на основании которых выносится решение о целостности принятой ТМИ, которые представлены в табл. 3, где РРС – режим работы

САУ двигателя (установившийся и переходный), СК – система контроля. Если сигнал $K=1$, САУ ГТД исправна, в противном случае $K=0$. При сигнале системы контроля $K=0$ данные, полученные с ЛА, будут считаться недействительными. Это выделено в особое событие для БПР «Отказ САУ ГТД».

Таблица 3. Правила для принятия решения о целостности данных

К	РРС	Тип согласования	Результат
0	Любой	Любой	Отказ САУ ГТД
1	установившийся	1	нормальная работа
1	установившийся	2	нормальная работа
1	установившийся	7	нормальная работа
1	установившийся	3	нарушение целостности
1	установившийся	4	нарушение целостности
1	установившийся	5	нарушение целостности
1	установившийся	6	нарушение целостности
1	неустановившийся	1	нормальная работа
1	неустановившийся	2	нормальная работа
1	неустановившийся	3	нормальная работа
1	неустановившийся	4	нарушение целостности
1	неустановившийся	5	нарушение целостности
1	неустановившийся	6	нарушение целостности

Тестирование алгоритма проводилось на 5500 тестовых ТВР. Каждая пара ТВР (ТВР с модели и ТВР, генерируемых САУ ГТД, записанных при реальной передаче данных с учетом реальных шумов, возникающих в каналах передачи данных), представляет временное окно, состоящее из 100 отсчетов ТВР во временном окне. На рис. 3 представлен пример такого окна.

Рис. 3. Пример временного окна
(Fig. 3. Example of time window)

На некоторые данные, полученные с САУ ГТД, были проведены атаки злоумышленника, описанные в [16], для получения разных типов согласования ТВР. Далее, для каждой пары вычислялись параметры согласования ТВР.

Примеры приведены в табл. 4.

Вычисляем метрики близости двух ТВР, переводим их в значения лингвистических термов согласно табл. 1, определяем тип согласованности согласно табл. 2:

Таблица 4. Примеры

№	Значение	Коэф. Детерм.	Евклидово расстояние	МАРЕ	Тип согласованности	К	PPC
1	Численное значение	0,921	3,211	5,111%	2	1	Устан.
	Термы лингв. переменных	высокий	средний	средний			
2	Численное значение	0,654	5,232	10,2%	4	1	Неустан
	Термы лингв. переменных	средний	низкий	средний			
3	Численное значение	0,410	6,321	14,4	5	1	Устан.
	Термы лингв. переменных	низкий	низкий	средний			

Тогда согласно правилам, приведенным в таб. 3.

1 пара ТВР: Если «Тип согласованности = 1» И «К=1» И «PPC = Установившийся», то результат работы БПР – «нормальная работа».

2 пара ТВР: Если «Тип согласованности = 4» И «К=1» И «PPC=Неустановившийся», то результат работы БПР – «нарушение целостности».

3 пара ТВР: Если «Тип согласованности = 5» И «К=1» И «PPC=Установившийся», то результат работы БПР – «нормальная работа».

Итоговый протокол работы БПР представлен в табл. 5.

Таблица 5. Итоговый протокол работы БПР о целостности данных

Режим работы САУ ГТД	Количество тестовых выборок	Количество случаев успешного распознавания атаки	Оценка вероятности успешного распознавания атаки
Установившийся	3945	3498	0,89
Переходный	3415	2755	0,81
Итого	5576	4670	0,85

Таким образом, как видно из табл. 4, оценка вероятности правильности принятого решения о типе согласованности ТВР, а, следовательно, и о целостности данных, принятых с борта ЛА, составила 0,85.

Для сравнения, в работе [17] оценка целостности проводилась на циклических кодах, и находила 10-15% модифицированных пакетов при случайных угрозах безопасности. Однако, как отмечают сами авторы, данный способ не тестировался на модификациях, при которых злоумышленник знаком с системой обеспечения целостности, и может пересчитать циклический код уже после внедрения модификаций. При равных вероятностях обнаружения нарушения целостности (значение вероятности

обнаружения 0,89 при установившихся режимах работы и 0,85 при всех режимах работы), предложенный вид контроля целостности способен выявлять еще один вид модификаций (внутренним злоумышленником) благодаря анализу контента передаваемых данных.

Заключение

В статье представлена система мониторинга целостности данных о состоянии САУ ГТД, позволяющая выявить несанкционированные воздействия на данные и тем самым повысить уровень защиты информации при ее передаче с борта ЛА на предприятие-разработчик (изготовитель). Система мониторинга целостности данных основывается на оценке параметров согласованности ТВР: коэффициент детерминации, средний процент отклонения и евклидово расстояние; а также на определении режима работы САУ ГТД (установившийся или переходный) и состоянии системы контроля САУ ГТД.

Блок принятия решения о целостности данных реализует итоговое принятие решения о текущем состоянии системы и позволяет определить наличие одного из состояний согласованности данных модели и САУ ГТД: «Отказ системы автоматического управления газотурбинным двигателем», «Нормальная работа», «Нарушение целостности», и оценить вероятности такого состояния.

В дальнейшем авторами предполагается работа для усовершенствования работы БПР, а именно планируется обеспечивать мониторинг целостности для многомерных ТВР, включающих в себя несколько параметров, а также рассматривать не только отдельные временные окна, но и всю принятую информацию целиком. Проблема защиты для подобного рода многомерных данных и ее решение для обеспечения конфиденциальности описывается в [18] и требует особого подхода для задачи обеспечения целостности ТМИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гузаиров М. Б., Фрид А. И., Вульфин А. М., Берхольц В. В., and Кириллова А. Д. "Анализ защищенности системы сбора, хранения и обработки телеметрической информации о состоянии бортовых систем летательного аппарата" Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2019. Т. 23, № 4 (86). С. 132–146.
2. Горбатов, Виктор С; Жуков, Игорь Ю; Мурашов, Олег Н. Криптографический протокол аутентификации и выработки общего ключа контрольных устройств автотранспорта. Безопасность информационных технологий, [S.l.]. Т. 24. № 4. С. 27–34, 2017. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/274> (дата обращения: 11.07.2020). DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2017.4.03>.
3. Чуянов Г.А., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И., Кравченко С.В. Направления совершенствования бортового оборудования для повышения безопасности полетов воздушного судна // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. №6 (155). С. 219–229. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-sovershenstvovaniya-bortovogo-oborudovaniya-dlya-povysheniya-bezopasnosti-poletov-vozdushnogo-sudna> (дата обращения: 11.07.2020).
4. Бронников А.М. Эффективность технической эксплуатации необслуживаемой в межсервисный период бортовой системы воздушного судна // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. №6. С. 89–98. DOI: <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2017-20-6-89-98>.
5. Guzairov M.B. Frid A.I., Vulfin A.M., Berkholts V.V. The concept of integrity of telemetric information about the state of an aircraft power plant monitoring // Proceedings of 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICOECS46375.2019.8950020>.
6. Вульфин А.М., Фрид А.И. Нейросетевая модель анализа технологических временных рядов в рамках методологии Data Mining // Информационно-управляющие системы. 2011. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyrosetevaya-model-analiza-tehnologicheskikh-vremennyh-ryadov-v-ramkah-metodologii-data-mining> (дата обращения: 11.07.2020).
7. Мелихова А.П., Цикин И.А. Пеленгационный метод контроля целостности поля глобальных навигационных спутниковых систем // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского

- государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление. 2015. №1 (212). С. 37–48.
8. Фазлиахметов Т.И. Фрид А.И. Модель анализа рисков несанкционированной модификации метрологических данных в производственных системах // Вестник УГАТУ = Vestnik UGATU. 2012. №3 (48). С. 187–193.
 9. Гольберг Ф.Д. Математические модели авиационных газотурбинных двигателей как объект управления. / Гольберг Ф.Д., Батенин А.В. М.: издательство МАИ, 1999. – 82 с.
 10. Фрид А.И., Гузаиров М.Б., Вульфин А.М., Берхольц В.В. Концепция мониторинга целостности телеметрической информации о состоянии энергетической установки летательного аппарата// сборник докладов XXIII пленума ФУМО ВО ИБ и всероссийской научной конференции "фундаментальные проблемы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации" (инфобезопасность - 2019). С. 7–14.
 11. Гуревич, О.С., Гольберг, Ф.Д., Селиванов О.Д. Интегрированное управление силовой установкой многорежимного самолета / Под общ. ред. О.С.Гуревича. М.: Машиностроение, 1993. – 304 с.
 12. J.S. Armstrong, F. Collopy, Error measures for generalizing about forecasting methods: Empirical comparisons, International Journal of Forecasting 8 (1) (1992). P. 69–80.
 13. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
 14. Гузаиров М.Б., Фрид А.И., Вульфин А.М., Берхольц В.В. Поддержка принятия решений в задаче обеспечения информационной безопасности авиационных систем телеметрии// Труды XXV юбилейного симпозиума «Надежность и качество», 25-31 мая 2020 г, Пенза, Россия, Т.1. С. 178–183.
 15. Васильев В.И., Вульфин А.М., Берхольц В.В., Кириллова А.Д., Бельский С.М. Анализ рисков обеспечения целостности телеметрической информации с использованием технологии когнитивного моделирования // Вестник УГАТУ. Т. 23. № 4 (86), (2019). С. 122–131. URL: <http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/Vestnik/article/view/2216> (дата обращения: 11.07.2020).
 16. Гузаиров М.Б., Фрид А.И., Вульфин А.М., Берхольц В.В., Кириллова А.Д. Анализ защищенности системы сбора, хранения и обработки телеметрической информации о состоянии бортовых систем летательного аппарата // Вестник УГАТУ. Т. 23. № 4 (86). С. 37–43 (2019). URL: <http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/Vestnik/article/view/2206>(дата обращения: 11.07.2020).
 17. Джурев, Р. Х. Методы оценки рисков нарушения целостности информации в сетях передачи данных / Р. Х. Джурев, Б. М. Умирзаков, Д. Б. Абдуллаев. // Молодой ученый. 2017. № 15 (149). С. 46–51.
 18. Горлатых, Андрей В.; Запечников, Сергей В. Построение защищенной системы управления многомерными структурами данных. Безопасность информационных технологий, [S.l.]. Т. 25. № 3. С. 16–25, 2018. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1136> (дата обращения: 11.07.2020). DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2018.3.02>.

REFERENCES:

- [1] Guzairov M.B., Frid A.I., Vulfin A.M., Berkholts V.V., and Kirillova A.D. "Analysis of the security of the system for collecting, storing and processing telemetric information about the state of on-board systems of the aircraft" Vestnik Ufa State Aviation Technical University. 2019. Vol. 23. No. 4 (86). P. 132–146 (in Russian).
- [2] Gorbato, Victor S.; Zhukov, Igor Y.; Murashov, Oleg N. Authentication and common key generation cryptographic protocol for vehicle tachographs. IT Security (Russia), [S.l.]. Vol. 24. No. 4. P. 27–34, 2017. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/274> (accessed: 07/11/2020). DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2017.4.03> (in Russian).
- [3] Chuyanov G.A., Kos'yanchuk V.V., Sel'vesyuk N.I., Kravchenko S.V. Directions for improving on-board equipment to improve aircraft flight safety. Izvestiya SFedU. (News SFU) Technical science. 2014. №6 (155). P. 219–229 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-sovershenstvovaniya-bortovogo-oborudovaniya-dlya-povysheniya-bezopasnosti-poletov-vozdushnogo-sudna> (accessed: 11.07.2020) (in Russian).
- [4] Bronnikov A.M. The effectiveness of the technical operation of the aircraft system onboard unattended during the interservice period. Nauchnyj vestnik MGTU GA (Scientific Herald of the MSTU GA). 2017. №6. P. 89–98. DOI <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2017-20-6-89-98> (in Russian).
- [5] Guzairov M.B. Frid A.I., Vulfin A.M., Berkholts V.V. The concept of integrity of telemetric information about the state of an aircraft power plant monitoring. Proceedings of 2019 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS) P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICOECS46375.2019.8950020>.
- [6] Vulfin A.M., Frid A.I. Neural network model for the analysis of technological time series in the framework of the Data Mining methodology. Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy (Information Management

- Systems) 2011. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyrosetevaya-model-analiza-tehnologicheskikh-vremennyh-ryadov-v-ramkah-metodologii-data-mining> (accessed: 11.07.2020) (in Russian).
- [7] Melikhova A.P., Tsikin I.A. Direction finding method for monitoring the integrity of the field of global navigation satellite systems // Scientific and technical bulletins of the St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science, telecommunications and management. 2015. No. 1 (212). P. 37–48.
- [8] Fazliakhmetov T.I. Frid A.I. Model of risk analysis of unauthorized modification of metrological data in production systems. Vestnik USATU. 2012. No 3 (48). P. 187–193.
- [9] Golberg F.D. Mathematical models of aviation gas turbine engines as an object of control. Golberg F.D., Batenin A.V. M.: MAI publishing house, 1999. – 82 p. (in Russian).
- [10] Frid A.I., Guzairov M.B., Vulfin A.M., Berkholtz V.V. The concept of monitoring the integrity of telemetric information about the state of the power plant of the aircraft. collection of reports of the XXIII plenum of the FUMO VO IB and the All-Russian scientific conference "fundamental problems of information security in the context of digital transformation" (information security -2019). P. 7–14 (in Russian).
- [11] Gurevich, O.S., Golberg, F.D., Selivanov O.D. Integrated control of the power plant of a multi-mode aircraft. Under the general. ed. O.S. Gurevich. M.: Mechanical Engineering, 1993. – 304 p. (in Russian).
- [12] J.S. Armstrong, F. Collopy, Error measures for generalizing about forecasting methods: Empirical comparisons, International Journal of Forecasting 8 (1) (1992). P. 69 – 80.
- [13] Zagoruyko N.G. Applied methods of data and knowledge analysis. Novosibirsk: IM SB RAS, 1999. – 270 p. (in Russian).
- [14] Guzairov M.B. Frid A.I., Vulfin A.M., Berkholtz V.V. Decision support in the task of ensuring information security of aviation telemetry systems. Proceedings of the XXV anniversary symposium "Nadezhnost' i kachestvo" (Reliability and Quality), May 25-31, 2020, Penza, Russia, T.1. P. 178–183 p. (in Russian).
- [15] Vasilyev V.I., Vulfin A.M. Berkholtz V.V., Kirillova A.D., Belsky S.M. Risk analysis of ensuring the integrity of telemetric information using cognitive modeling technology. Vestnik of Ufa State Aviation Technical University. Vol. 23. No. 4 (86). P. 122–131 (2019). URL: <http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/Vestnik/article/view/2216> (accessed: 11.07.2020) (in Russian).
- [16] Guzairov M.B., Frid A.I., Vulfin A.M., Berkholtz V.V., Kirillova A.D. Analysis of the security of the system for collecting, storing and processing telemetric information on the state of the aircraft's onboard systems // Vestnik of Ufa State Aviation Technical University. Vol. 23. No. 4 (86). P. 37–43 (2019). URL: <http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/Vestnik/article/view/2206> (accessed: 11.07.2020) (in Russian).
- [17] Dzhuraev, R. Kh. Methods for assessing the risks of violation of the integrity of information in data transmission networks R. Kh. Dzhuraev, BM Umirzakov, DB Abdullaev. Young scientist. 2017. No. 15 (149). P. 46–51 (in Russian).
- [18] Gorlatykh, Andrey V.; Zapechnikov, Sergey V. Building secure multidimensional data management system. IT Security (Russia), [S.l.]. Vol. 25. No. 3. P. 16–25, 2018. ISSN 2074-7136. URL: <https://bit.mephi.ru/index.php/bit/article/view/1136> (accessed: 07/11/2020). DOI: <http://dx.doi.org/10.26583/bit.2018.3.02> (in Russian).

*Поступила в редакцию – 07 октября 2020 г. Окончательный вариант – 23 ноября 2020 г.
Received – October 07, 2020. The final version – November 23, 2020.*