

А. Ю. ИВАНОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: alexandr.y@mail.ru)

И. Г. МАЛЫГИН, д-р техн. наук, профессор, директор Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, В. О., 12-я линия, 13)

В. И. КОМАШИНСКИЙ, д-р техн. наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, В. О., 12-я линия, 13; e-mail: kama54@rambler.ru)

УДК 004.75;629.7

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НАЗЕМНОЙ РЕГИСТРАЦИИ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Рассмотрена концепция информационной системы наземной регистрации состояния безопасности воздушного судна. Выявлена проблема повышения катастрофоустойчивости информации, фиксируемой бортовыми самописцами. Показано, что решить указанную проблему можно дублированием регистрируемой информации наземными службами. Предложена общая структура системы наземной регистрации состояния безопасности воздушного судна. Проанализированы возможные алгоритмы функционирования предлагаемой системы. Сделан вывод о целесообразности применения принципов организации распределенных баз данных со структурной адаптацией к формированию информационного обеспечения системы наземной регистрации.

Ключевые слова: информационная система; воздушное судно; катастрофоустойчивость; бортовой самописец; распределенная база данных; структурная адаптация.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.54-61

В современных условиях информация приобретает статус решающего фактора при решении задач во многих сферах деятельности человека, поэтому на первое место выдвигаются требования по ее полноте, достоверности, доступности и т. п. Удовлетворение этих требований в существенной степени определяется эффективностью реализации информационных процессов в разнообразных прикладных системах — производственных, телекоммуникационных, медицинских и др. Такое положение справедливо для области обеспечения функционирования транспортных средств и систем [1–3].

Анализ публикаций в средствах массовой информации, связанных с освещением хода расследования авиакатастроф и установлением их причин, показывает следующее. Во многих случаях единственным и наиболее достоверным источником информации о технических параметрах воздушного судна и действиях экипажа являются записи бортовых самописцев, так называемых “черных ящиков”. Тем не менее специалистам в области авиации и представителям специальных служб не всегда удается получить доступ к указанной информации. Основными причинами являются следующие. Бортовые

самописцы могут быть безвозвратно утрачены при взрыве летательного аппарата, его падении в глубоководной части мирового океана или на территории, контролируемой экстремистскими группировками [4–7]. Если же условия позволяют обнаружить эти приборы и приступить к работе с ними, то не исключена вероятность того, что степень их повреждения окажется критической, не допускающей извлечения необходимого минимума полезной информации при расшифровке записей. Несмотря на особую прочность конструкции “черных ящиков” и размещение их в “безопасной” (наименее подверженной разрушениям в случае падения) части воздушного судна, получение требуемой информации не всегда гарантировано. Такое положение затрудняет установление истинных причин авиакатастроф и приводит к существенному увеличению сроков расследования. Резервирование информации на борту летательного аппарата не в состоянии решить проблему обеспечения ее доступности и полноты в случае авиакатастрофы, поскольку локальный характер размещения нескольких блоков записывающих устройств (в пределах воздушного судна) не гаран-

тирует сохранности и целостности самописцев в описанных ранее катастрофических ситуациях.

На наш взгляд, перспективным направлением существенного снижения степени остроты названной проблемы, которую вполне можно охарактеризовать как проблему обеспечения *катастрофоустойчивости информации*, может служить дублирование данных бортовых самописцев информационной системой наземной регистрации. Общее концептуальное построение такой системы может быть представлено следующим образом.

Предлагаемая система содержит три компонента — бортовой, наземный и орбитальный комплексы. Первые два компонента следует отнести к категории основных, а третий — вспомогательных.

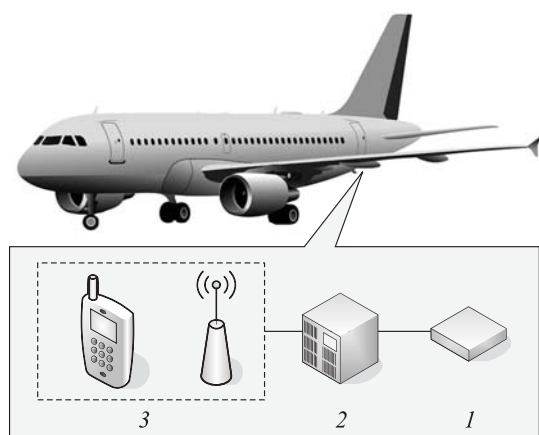


Рис. 1. Состав бортового комплекса

Бортовой комплекс (рис. 1), как следует из его названия, должен размещаться на борту воздушного судна и содержать собственно самописцы 1, компьютерную систему 2, а также средства связи 3 с наземными станциями и космическими аппаратами.

Функции этого компонента соответствуют перечисленным элементам:

1 — регистрация речевого трафика экипажа и технических параметров летательного аппарата;

2 — формирование дублирующей информации с самописцев и подготовка ее к передаче (сжатие, шифрование, помехоустойчивое кодирование);

3 — передача сформированных блоков информации в сторону наземного или орбитального компонента.

Наземный комплекс по замыслу представляет собой информационно-телекоммуникационную сеть произвольной или сотовой структуры, причем между ее двумя различными узлами должно существовать как минимум два независимых маршрута передачи (рис. 2). Принципиально каждый узел может функционировать в автоматическом режиме, однако не следует исключать вмешательства оператора, например при реконфигурации сети или при необходимости балансировки сетевого трафика.

Основными узловыми составляющими следует считать средства связи 1, компьютерные комплексы 2 и средства передачи данных 3 (см. рис. 2). Их функции также вытекают из назначения указанных составных частей:

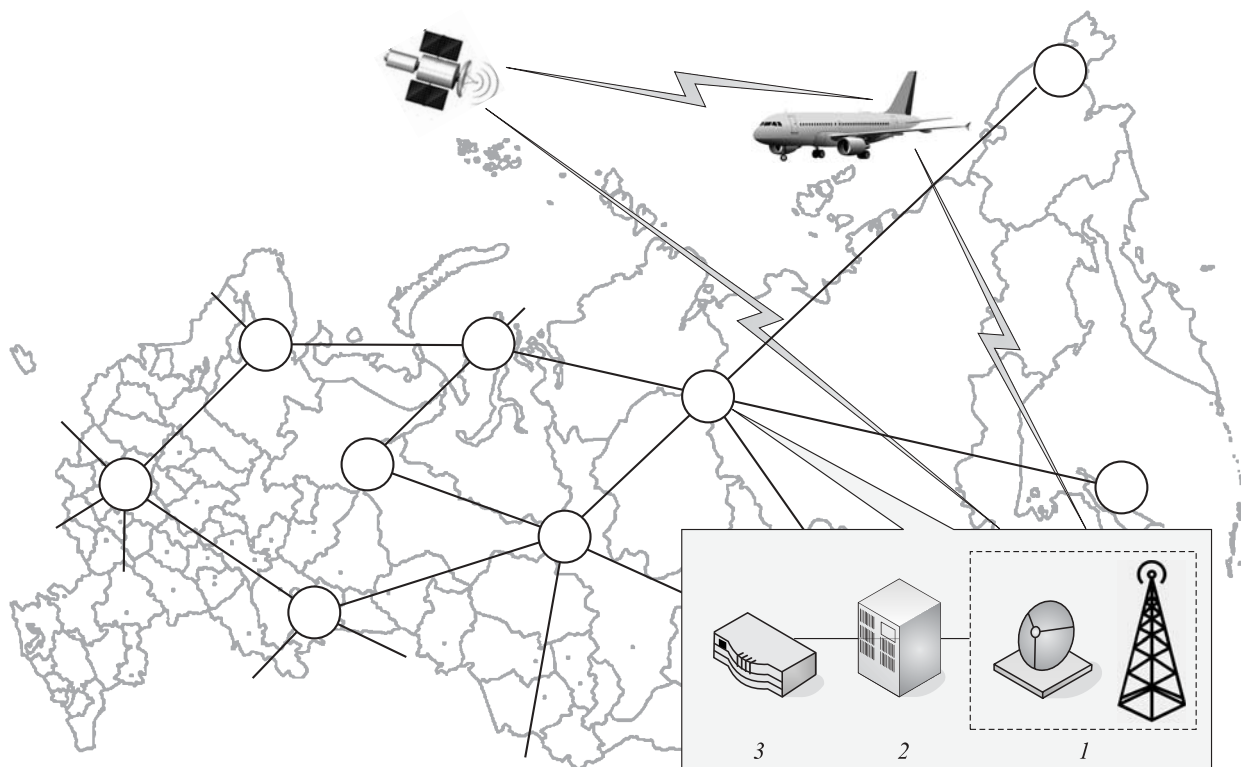


Рис. 2. Состав наземного комплекса

- 1 — устойчивый прием информации с борта воздушного судна или от космического аппарата;
- 2 — декодирование информации и ее обработка с целью дальнейшей трансляции по сети;
- 3 — приведение информации к виду, необходимому для передачи по имеющимся каналам передачи данных.

Сами каналы могут строиться как выделенные или формироваться на базе общедоступных сетей с соблюдением мер безопасности, например, по технологии VPN [8].

Орбитальный комплекс необходимо задействовать в особых ситуациях, таких как полет воздушного судна над океанской акваторией при значительном удалении от береговой линии. Основной его функцией следует считать ретрансляцию сигнала с борта летательного аппарата в ближайший узел наземного компонента на маршруте следования транспортного средства.

Абстрактное представление системы в целом позволяет отчетливо выделить ее специфические черты. Первая заключается в том, что накопление информации происходит в результате организации связи с подвижными объектами. Вторая определяется динамическим изменением информационной инфраструктуры (базы данных) наземного комплекса.

Рассмотрим возможные подходы к формированию информационной инфраструктуры (рис. 3).

Первый подход характеризуется тем, что основным элементом, хранящим необходимую информацию, по-прежнему является сам летательный аппарат, точнее его бортовой комплекс, а наземный комплекс играет пассивную роль. Условимся называть такой подход “традиционным”.

Воздушное судно следует из пункта *A* в пункт *B* (см. рис. 3). Продвигаясь по маршруту, оно последовательно будет оказываться в зонах ответственности узлов наземного комплекса 0–3–5–6–8. До момента пересечения границы зоны 0 (определяется

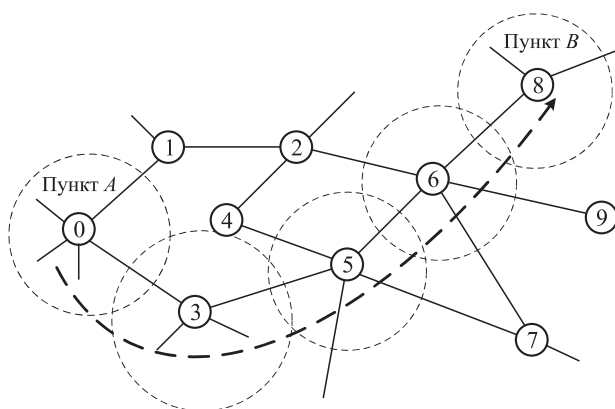


Рис. 3. Графическое представление взаимодействия элементов наземного комплекса при работе информационной системы

по соотношению уровней пилот-сигналов узлов 0 и 3) информация с борта воздушного судна поступает в узел 0, формируя фрагмент базы данных F_0 , оригинал которого хранится в памяти компьютера бортового комплекса. Поскольку воздушное судно пересекло границу сопредельных зон (0 и 3) и вышло из ответственности зоны 0, фрагмент F_0 подлежит удалению из соответствующего узла. Это условие является весьма важным, поскольку обеспечивает экономию памяти узла.

При вхождении в зону 3 фрагмент F_0 передается в память этого узла, а на борту последовательно формируется и одновременно транслируется фрагмент F_3 . Далее последовательность действий циклически повторяется до посадки летательного аппарата в пункте *B*.

Таким образом, при нахождении воздушного судна в некоторой зоне в памяти соответствующего узла хранится суммарный фрагмент $F_i = \sum_{j \in M_i} F_j$, где M_i — множество узлов, пройденных на маршруте M к текущему моменту; F_i, F_j — текущие значения).

Обобщенная блок-схема алгоритма, реализующего указанный подход, представлена на рис. 4.

Рассматриваемый подход не предъявляет жестких требований к сетевой структуре наземного комплекса, поэтому в общем случае сеть может вырождаться в совокупность несвязанных узлов. Строго

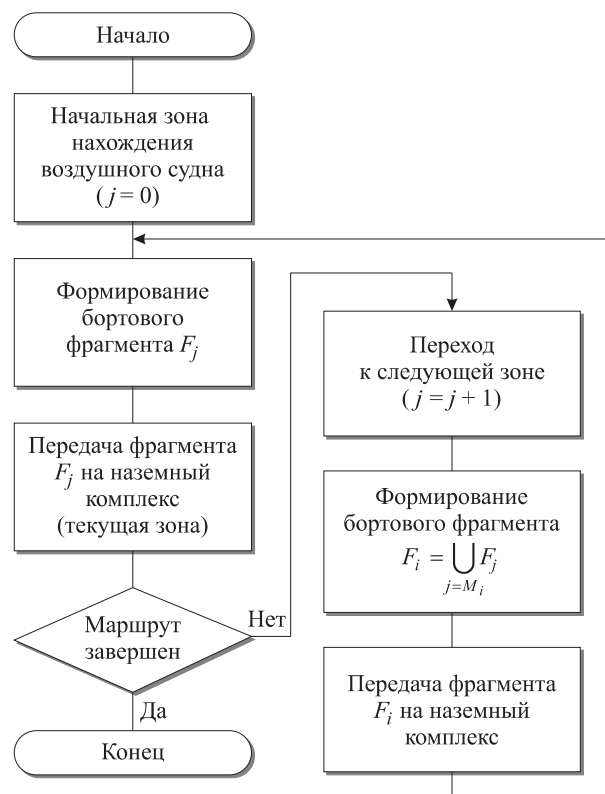


Рис. 4. Алгоритм реализации “традиционного” подхода к формированию информационной инфраструктуры наземного комплекса

говоря, информационная инфраструктура не может называться распределенной базой данных и представляет собой множество массивов информации. Однако в этом случае существенно возрастают требования к объему памяти компьютера бортового комплекса, усложняется его программное обеспечение и повышается интенсивность радиотрафика “Борт – Земля”.

Альтернативный подход основан на концепции распределенных баз данных со структурной адаптацией [9, 10]. Данная концепция использует в качестве отправного момента следующее положение. Статичная в смысле физической структуры распределенная база данных не в состоянии поддерживать показатели эффективности информационной системы на заданном уровне в случае обслуживания запросов мобильных пользователей, даже если ее первоначальная структура являлась оптимальной в этом отношении. Раскроем сущность этого положения.

С позиций теории эффективности удовлетворение требований к данным и процессам их обработки можно рассматривать как цель, достигаемую в процессе построения и использования базы данных. В свою очередь, это обеспечит заданный уровень требований к информационной системе.

Геометрическая интерпретация подобного подхода состоит в удержании значения некоторого обобщенного показателя U или частного показателя, например вероятности своевременной обработки запросов к базе данных $P(t \leq t_{\text{доп}})$, на заданном уровне (рис. 5, линия 1) или в заданных пределах (см. рис. 5, пунктир) на всем этапе функционирования t при выводе значений других показателей в ограничения (рис. 5, линия 2).

Правомочность данного подхода не вызывает сомнений при допущении о стабильной структуре сети и постоянном размещении пользователей. Это допущение облегчает решение задач структуризации самой базы и оптимизации выполнения запросов к ней.

В то же время динамика повседневной работы пользователей, в особенности их действий в крити-

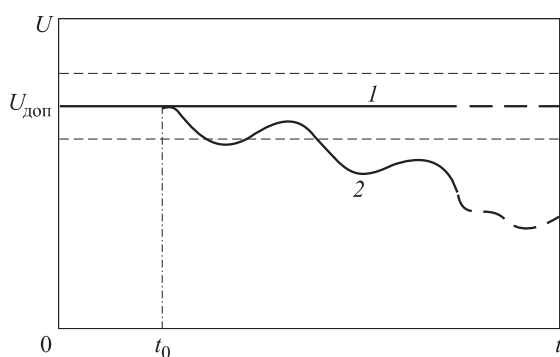


Рис. 5. График поведения показателя эффективности во времени

ческих условиях, предполагает штатное и/или внезапное изменение информационной инфраструктуры. Существуют факторы, которые могут потребовать реструктуризации базы данных в процессе ее применения.

К этим факторам относятся:

- перемещение пользователей в плановом или оперативном порядке;
- изменение структуры сети, например ее наращивание или деформация;
- выход или угроза выхода из строя узлов или линий связи вследствие разрушений, вызванных техногенными и природными катастрофами и/или другими действиями.

В результате воздействия одного или нескольких перечисленных факторов, начиная с некоторого момента времени t_0 , значение выбранного показателя U может выходить за нормативные пределы (см. рис. 5, кривая 2).

В работах [9, 10] показано и обосновано, что стабилизация значения показателя эффективности возможна за счет структурных изменений, которые позволят адаптировать базу данных к меняющимся условиям обстановки и тем самым обеспечить оптимальность выполнения запросов.

В общем случае реструктуризация представляет собой процесс формирования фрагментов базы данных, мигрирующих по сети. Это предполагает, что при условии наличия достаточного пространства памяти в целевых узлах некоторые фрагменты могут перемещаться между узлами (рис. 6, фрагм. 1), а другие — копироваться на один или несколько узлов (см. рис. 6, фрагм. 2).

Анализ общих принципов построения и функционирования распределенных баз данных со структурной адаптацией показал, что они могут быть применены к организации информационного обеспече-

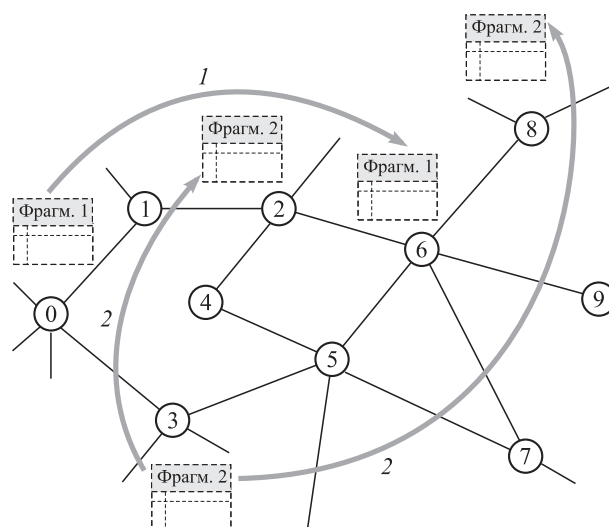


Рис. 6. Пример миграции фрагментов базы данных по сети

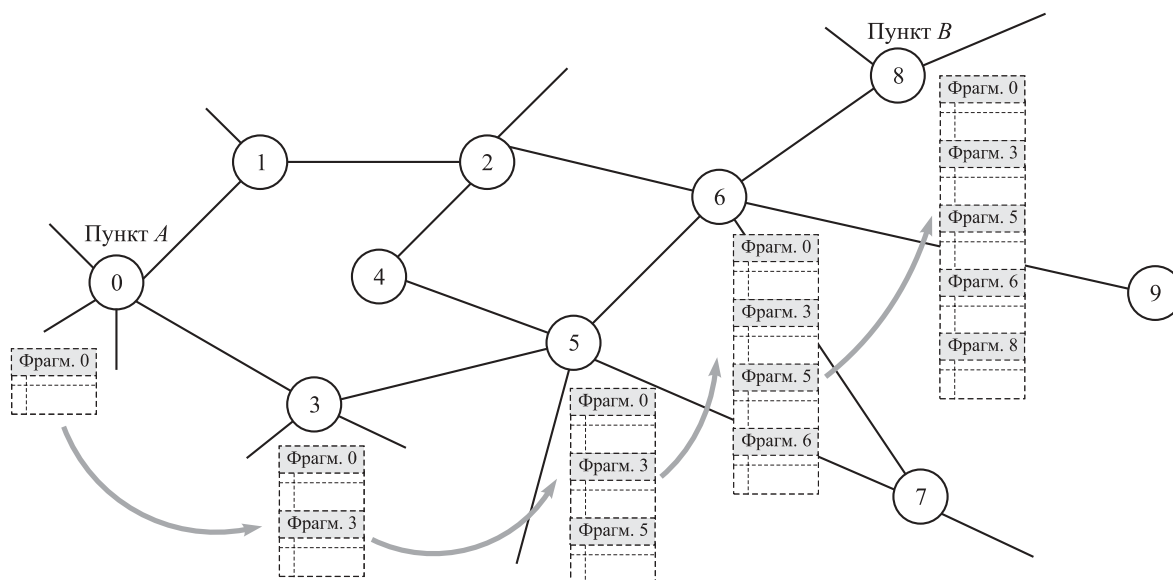


Рис. 7. Пример последовательного формирования наземных копий бортовой информации

ния предлагаемой системы наземной регистрации. Их реализация требует модернизации рассмотренного ранее “традиционного” подхода. Сущность предлагаемых изменений состоит в следующем.

Обратимся к рассмотренному примеру (см. рис. 3). При последовательном движении по маршруту бортовым компьютером в j -й узел циклически передается информация, поступившая на приборы регистрации при пролете j -й зоны ($j \in M$, где M — множество номеров узлов, составляющих маршрут). Таким образом, в памяти каждого узла формируется фрагмент данных F_j ($j \in M$). Объединение всех фрагментов дает полную копию данных, зарегистрированных бортовыми самописцами: $F = \bigcup_{j \in M} F_j$. Однако все фрагменты хранятся в памяти различных узлов, поэтому для восстановления полной картины происшедшего в случае катастрофы необходима их концентрация на одном или нескольких узлах.

После того как воздушное судно покинет k -ю зону и переместится в зону p , фрагмент F_k должен быть передан в узел p по каналам инфотелекоммуникационной сети наземного комплекса ($k \in M$, $p \in M$). Тогда в узле p формируется фрагмент $F_{kp} = F_k \cup F_p$. В целях повышения отказоустойчивости в сети или нескольких ее сегментах целесообразно назначать центры резервного копирования. Их функции могут возлагаться на зоновые или специализированные узлы. По окончании выполнения указанных действий, включая резервирование, оригинал фрагмента F_k может быть удален из соответствующего узла во избежание переполнения его памяти.

Таким образом, в произвольный момент времени в j -й зоне нахождения воздушного судна на соответствующем узле j существует полная копия бор-

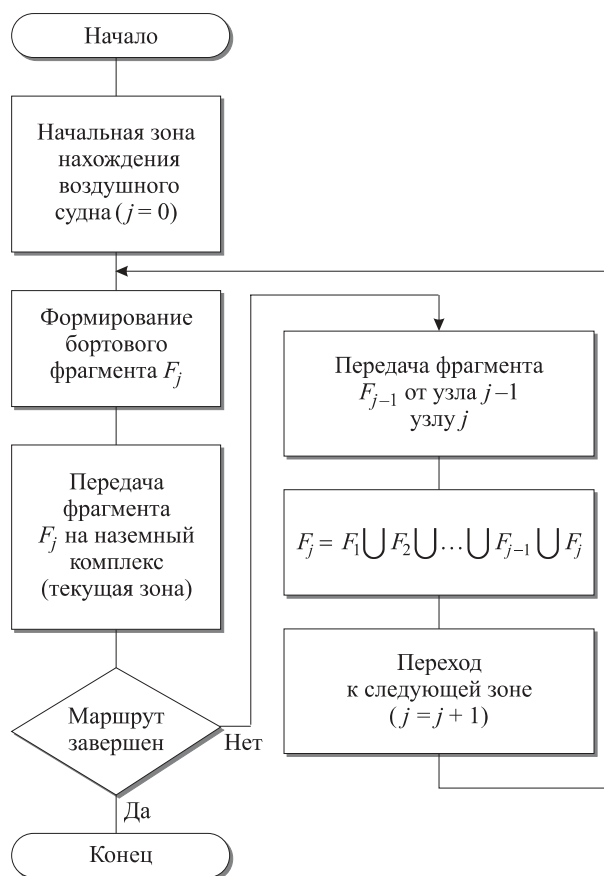


Рис. 8. Алгоритм реализации альтернативного подхода к формированию информационной инфраструктуры наземного комплекса

товой информации. Процесс ее формирования может быть представлен графически (рис. 7).

Обобщенную схему алгоритма, реализующего данный подход, можно изобразить в следующем виде (рис. 8).

Анализ предлагаемой информационной системы наземной регистрации состояния воздушного судна позволяет сделать следующие выводы:

1. Обеспечение катастрофоустойчивости информации о состоянии воздушного судна требует реализации принципа избыточности. Причем в отличие от применения этого принципа к отказоустойчивым системам, допускающим локальное размещение избыточных копий [11, 12], в данном случае дублирующая информация должна размещаться вне летательного аппарата.

2. Такое обоснование предполагает построение наземной информационно-телекоммуникационной сети, на которую поступают данные, регистрируемые бортовыми самописцами летательного аппарата. Обработка поступившей информации позволит в произвольный момент времени формировать данные, идентичные бортовым.

3. Рекомендуются вести обработку наземной информации в соответствии с подходами и принци-

пами организации распределенных баз данных со структурной адаптацией, которые предполагают перемещение фрагментов данных по информационно-телекоммуникационной сети.

4. Для повышения отказоустойчивости информации наземной сети целесообразно использовать систему резервного копирования, позволяющую восстанавливать данные в случае нарушения работы сетевых средств, а также предусмотреть наличие альтернативных маршрутов для мигрирующих фрагментов данных.

5. Реализация предлагаемой информационной системы, хотя и потребует определенных ассигнований на ее создание и обеспечение функционирования, позволит существенно повысить катастрофоустойчивость информации о состоянии воздушного судна и сократить временные и людские ресурсы при установлении причин аварий и крушений на воздушном транспорте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петренко С. В. Методы и модели организации информационной поддержки для эффективного формирования бесконфликтного потока воздушных судов : дис. ... д-ра техн. наук. — Тамбов, 2013. — 393 с.
2. Kirwan B. Safety informing design // *Safety Science*. — 2007. — Vol. 45, Issue 1-2. — С. 155–197. DOI: 10.1016/j.ssci.2006.08.011.
3. Kjellén U. Safety in the design of offshore platforms: Integrated safety versus safety as an add-on characteristic // *Safety Science*. — 2007. — Vol. 45, Issue 1-2. — P. 107–127. DOI: 10.1016/j.ssci.2006.08.012.
4. Mearns K., Whitaker S. M., Flin R. Safety climate, safety management practice and safety performance in offshore environments // *Safety Science*. — 2003. — Vol. 41, Issue 8. — P. 641–680. DOI: 10.1016/s0925-7535(02)00011-5.
5. Mohaghegh Z., Mosleh A. Incorporating organizational factors into probabilistic risk assessment of complex socio-technical systems: Principles and theoretical foundations // *Safety Science*. — 2009. — Vol. 47, Issue 8. — P. 1139–1158. DOI: 10.1016/j.ssci.2008.12.008.
6. Stolzer A. J., Halford C. D., Goglia J. J. Implementing safety management systems in aviation. — Surrey, England : Ashgate Publishing, Ltd., 2011. DOI: 10.4324/9781315587981.
7. Buinevich M., Izrailov K. Method and utility for recovering code algorithms of telecommunication devices for vulnerability search // 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). — 2014. — P. 172–176. DOI: 10.1109/icact.2014.6778943.
8. Зима В. М., Молдаван А. А., Молдаван Н. А. Безопасность глобальных сетевых технологий. — 2-е изд. — СПб. : БХВ-Петербург, 2003. — 368 с.
9. Артамонов В. С., Иванов А. Ю. Структура и понятийный аппарат теории мобильных распределенных баз данных // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2009. — № 1. — С. 79–84.
10. Саенко И. Б., Иванов А. Ю. Методология динамического управления структурой мобильных распределенных баз данных // *Информация и космос*. — 2009. — № 2. — С. 132–138.
11. Игуду К. А., Кривошеков С. А. Математические модели отказоустойчивых вычислительных систем. — М. : Изд-во МАИ, 1989. — 142 с.
12. Сильников М. В., Малыгин И. Г., Козьмовский Д. В. Методы мониторинга, контроля и тестирования уровня защищенности и анализа сетевой деятельности пользователей вычислительных сетей в интересах информационной безопасности системы // *Проблемы управления рисками в техносфере*. — 2015. — № 3(35). — С. 78–84.

Материал поступил в редакцию 28 декабря 2016 г.

Для цитирования: *Иванов А. Ю., Малыгин И. Г., Комашинский В. И.* Информационная система наземной регистрации состояния безопасности воздушного судна // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 54–61. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.54-61.

English

INFORMATION SYSTEM FOR LAND REGISTRATION STATE AIRCRAFT SAFETY

IVANOV A. Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of System Analysis and Crisis Management
Department, Saint Petersburg University of State Fire Service
of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg,
199105, Russian Federation; e-mail: alexandr.y@mail.ru)

MALYGIN I. G., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Solomenko Institute of Transport Problems of
the Russian Academy of Sciences (12-ya Liniya Vasilyevskogo
Ostrova, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation)

KOMASHINSKIY V. I., Doctor of Technical Sciences, Docent,
Deputy Head of Sciences, Solomenko Institute of Transport
Problems of the Russian Academy of Sciences (12-ya Liniya
Vasilyevskogo Ostrova, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation;
e-mail: kama54@rambler.ru)

ABSTRACT

The article is devoted to the conceptual approach to the organization and functioning of the information system of land registration of the security status of the aircraft.

Modern means of registration have traditionally placed on board of the aircraft. This character of their placement does not guarantee the integrity of the information latched during catastrophic situations.

The authors propose to duplicate critical information by means of terrestrial services. To this it should be a system of land registration of the security status of the aircraft. It is assumed that the system should include the following components (systems): airborne, ground and orbital.

Onboard complex is none other than the terminal, which receives information about voice and crew talks about the technical parameters of aircraft. This information formed into blocks, which are periodically transmitted in the direction of orbital or terrestrial systems.

Ground complex in conception is the information and telecommunications network arbitrary or any cellular structure, while between its two different nodes should be at least two independent transmission route. This network is designed for accumulation and translation of the board received information in accordance with the route of the vessel.

Orbital complex plays the role of the reserve component. He is engaged in special situations, such as flying aircraft over the ocean space at a considerable distance from the coastline. Its main function should be considered as a signal relay on board the aircraft nearest node terrestrial component to the route of the vehicle.

This article discusses two versions of interaction airborne and ground systems to form a complete picture of the information security of the aircraft is able to board the vehicle.

The first option involves the transfer to the ground all the complex information stored on board when flying a regular route zone. This approach is equivalent to the current replication status information to a remote server. At the same time ground-based network resources are utilized not fully, but the network itself does not guarantee occurrence of congestion nodes with increasing intensity of transport flows in the areas of its service.

The second option provides for a “reset” in each zone only the information that has been accumulated since the last exchange of airborne and ground systems. Then, all the previously transferred to the “land” data must be translated to another point “reset” in real time, are accumulated with the newly

received information, and be ready to further advance over the network. This ground complex is not only responsible for the integrity of the data, but also for the reliability of their delivery to the final destination.

Distributed databases with structural adaptation are the technological aspect of such a system of organization.

Thus, the terrestrial infrastructure forms an information model of the motion of the aircraft in order to preserve all critical information.

Keywords: information system; aircraft; disaster recovery; flight data recorder; distributed database; structural adaptation.

REFERENCES

1. Petrenko S. V. *Methods and models for the organization of information support for the effective formation of conflict-free flow of aircraft*. Dr. tech. sci. diss. Tambov, 2013. 393 p. (in Russian).
2. Kirwan B. Safety informing design. *Safety Science*, 2007, vol. 45, issue 1-2, pp. 155–197. DOI: 10.1016/j.ssci.2006.08.011.
3. Kjellén U. Safety in the design of offshore platforms: integrated safety versus safety as an add-on characteristic. *Safety Science*, 2007, vol. 45, issue 1-2, pp. 107–127. DOI: 10.1016/j.ssci.2006.08.012.
4. Mearns K., Whitaker S. M., Flin R. Safety climate, safety management practice and safety performance in offshore environments. *Safety Science*, 2003, vol. 41, issue 8, pp. 641–680. DOI: 10.1016/s0925-7535(02)00011-5.
5. Mohaghegh Z., Mosleh A. Incorporating organizational factors into probabilistic risk assessment of complex socio-technical systems: Principles and theoretical foundations. *Safety Science*, 2009, vol. 47, issue 8, pp. 1139–1158. DOI: 10.1016/j.ssci.2008.12.008.
6. Stolzer A. J., Halford C. D., Goglia J. J. *Implementing safety management systems in aviation*. Surrey, England, Ashgate Publishing, Ltd., 2011. DOI: 10.4324/9781315587981.
7. Buinevich M., Izrailov K. Method and utility for recovering code algorithms of telecommunication devices for vulnerability search. In: *16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2014, pp. 172–176. DOI: 10.1109/icact.2014.6778943.
8. Zima V. M., Moldavyan A. A., Moldavyan N. A. *Security of WAN technologies*. 2nd ed. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2003. 368 p. (in Russian).
9. Artamonov V. S., Ivanov A. Yu. The structure and the conceptual apparatus of the theory of mobile distributed databases. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii (Herald of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia)*, 2009, no. 1, pp. 79–84 (in Russian).
10. Saenko I. B., Ivanov A. Yu. Methodology dynamic management structure mobile distributed databases. *Informatsiya i kosmos (Information and Space)*, 2009, no. 2, pp. 132–138 (in Russian).
11. Iyudu K. A., Krivoshchekov S. A. *Mathematical model of fault-tolerant computing systems*. Moscow, MAI Publ., 1989. 142 p. (in Russian).
12. Silnikov M. V., Malygin I. G., Kozmovskiy D. V. Methods of monitoring, control and testing security analysis of network activity of users of computer networks in the interests of information security system. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere (Problems of Technosphere Risk Management)*, 2015, no. 3(35), pp. 78–84 (in Russian).

For citation: Ivanov A. Yu., Malygin I. G., Komashinskiy V. I. Information system for land registration state aircraft safety. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 54–61. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.54-61.