

Труды МАИ. 2025. № 141
Trudy MAI. 2025. No. 141. (In Russ.)

Научная статья

УДК 51.74

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=184515>

EDN: <https://www.elibrary.ru/YVLHRH>

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Анна Оганесовна Маркарян

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
МАИ, Москва, Российская Федерация

anestrelle@gmail.com

Аннотация. В статье описана проблема формализации и автоматизации процесса расследования авиационных происшествий и инцидентов в гражданской авиации. Проанализирована статистика, показавшая отрицательную динамику количества авиакатастроф при устойчивом росте спроса на авиаперевозки, выявлены основные причины авиационных происшествий. Рассмотрены информационные системы в области управления авиационной безопасностью и возможность их применения для расследования авиационных происшествий и инцидентов. Проведен обзор основных направлений исследований по данной теме, обоснована актуальность разработки системы поддержки принятия решений при расследовании авиационных происшествий. Сформулирована цель исследования – моделирование автоматизированной системы, позволяющей осуществлять анализ совокупности данных, собранных в процессе расследования, и предлагать решения по установлению причин авиационных происшествий и инцидентов. Проведен системный анализ процесса расследования, в рамках которого изучены основные нормативно-правовые документы, определяющие регламент, функции и задачи участников данного процесса. На основании этого сформулированы функциональные

требования к разрабатываемой системе. Разработана концептуальная модель системы поддержки принятия решений при расследовании авиационных происшествий, состоящей из шести подсистем и базы знаний. Построена графическая модель системы. Определены множества входных и выходных данных и разработаны математические модели функциональных подсистем. Предложена реализация моделей в виде сочетания традиционных алгоритмов и алгоритмов машинного обучения для семантического анализа неструктурированной информации.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, расследование авиационных происшествий и инцидентов, формализация, математическая модель

Для цитирования: Маркарян А.О. Система поддержки принятия решений при расследовании авиационных происшествий // Труды МАИ. 2025. № 141. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=184515>

Original article

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR AVIATION ACCIDENT INVESTIGATION

Anna O. Markarian

Moscow aviation institute (National Research University), MAI,
Moscow, Russian Federation

anestrelle@gmail.com

Abstract. The article describes the problem of formalization and automation of the process of investigation of aviation accidents and incidents in civil aviation. The statistics are analyzed, which showed the negative dynamics of the number of air crashes with a steady growth in demand for air transportation, the main causes of aviation accidents are identified. Information systems in the field of aviation safety management and the possibility of their application for the investigation of aviation accidents and incidents are considered. It is revealed that the existing systems are designed to collect, analyze and exchange information on the safety of aviation activities, but do not have the functionality for decision-making.

An overview of the main areas of research on this topic is provided, the relevance of developing a decision-making support system for the investigation of aviation accidents is substantiated. The purpose of the study is modeling an automated system that allows analyzing a set of data collected during the investigation and proposing solutions to establish the causes of aviation accidents and incidents. A system analysis of the investigation process is carried out, within the framework of which regulatory documents defining the regulations, functions and tasks of the participants in this process are studied. Based on this, functional requirements for the system being developed are formulated. A conceptual model of the decision support system for investigating aviation accidents is proposed, consisting of six subsystems and a knowledge base. A graphical model of the system is built. Sets of input and output data are defined, mathematical models of functional subsystems are developed. The implementation of models in the form of a combination of traditional algorithms and machine learning algorithms for semantic analysis of unstructured information is proposed. The system is designed to operate in an automated mode, leaving the right to make a final decision, formulated in the "final report", to the investigation commission.

Keywords: decision support system, investigation of aviation accidents and incidents, formalization, mathematical model

For citation: Markarian A.O. Decision support system for aviation accident investigation. *Trudy MAI*. 2025. No. 141. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=184515>

Введение

Авиационный транспорт является наиболее быстрым и удобным средством передвижения в современном мире. Популярность авиаперевозок возрастает с каждым годом. На рисунке 1 продемонстрирована динамика числа авиарейсов в мире посуточно за период с января 2020 года по текущую дату, на рисунке 2 – выровненные методом скользящего среднего данные за 7 дней¹. В 2023 году было совершено свыше 77 миллионов авиарейсов. Суточный максимум по количеству авиаперелетов,

¹ Статистика онлайн-сервиса Flightradar24. URL: <https://www.flightradar24.com/data/statistics>

составивший 275690 рейсов, был зафиксирован 19 июля 2024 года. На указанную дату в 2024 году среднее количество авиарейсов увеличилось по отношению к 2023 году на 7,5%, а по отношению к 2021 – почти на 30%, что свидетельствует об устойчивом росте спроса на авиаперевозки².

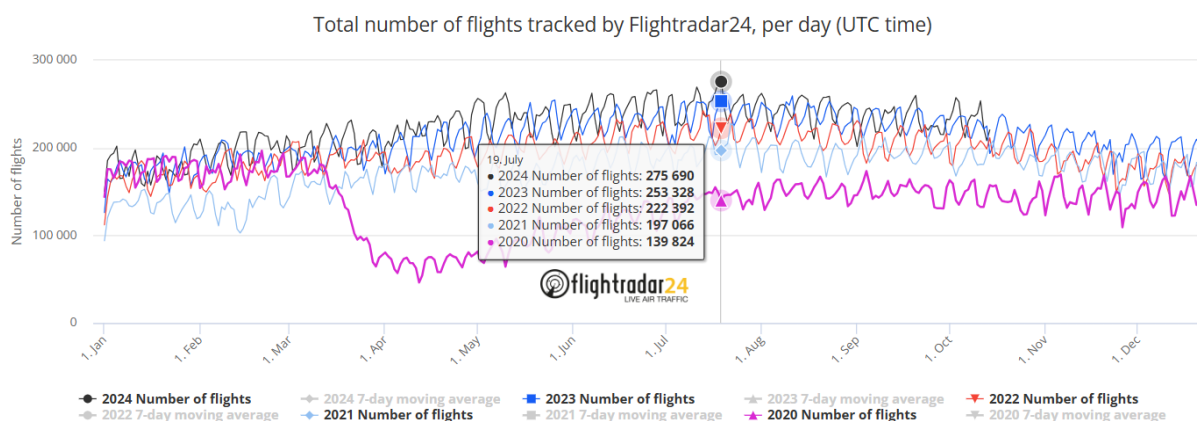


Рисунок 1 – Суточная динамика авиарейсов в мире

Обеспечивая пассажирам высокую скорость и комфорт, авиация считается самым надежным видом транспорта [1, 2].

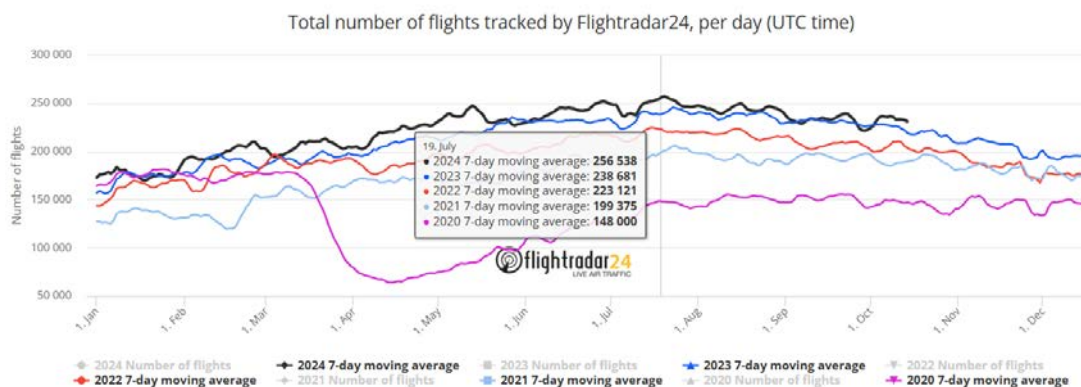


Рисунок 2 – Выровненная динамика авиарейсов в мире

По статистике за последние 35 лет в мире произошло около 7 тысяч авиационных происшествий, в среднем около 200 в год, причем заметна убывающая тенденция – если за период с 1990 по 2013 год среднегодовое число происшествий

² 2020 год не принимается во внимание ввиду ковидных ограничений

составляло 230, то за 2014-2023 этот показатель снизился до 131, то есть почти в 2 раза (рисунок 3)³. Несложные расчеты позволяют оценить вероятность инцидента малой величиной порядка 10^{-6} , что подтверждает выводы о надежности авиационного транспорта. Несмотря на приводимые исследователями аргументы в пользу безопасности авиаперелётов, базирующиеся на объективном анализе статистических данных, авиационные происшествия вызывают резонанс. Обратившись к статистике, увидим, что авиационные катастрофы уносят жизни в среднем 1200 человек в год, причем, аналогично описанному выше исследованию, наблюдается отрицательная динамика – за период с 1990 по 2013 год жертвами авиакатастроф стали в среднем 1450 человек в год, а за последние 10 лет – 645 человек, то есть в 2 раза меньше (рисунок 4). Полученные результаты логичны, учитывая высокую коррелированность между количеством авиационных происшествий и числом их жертв.

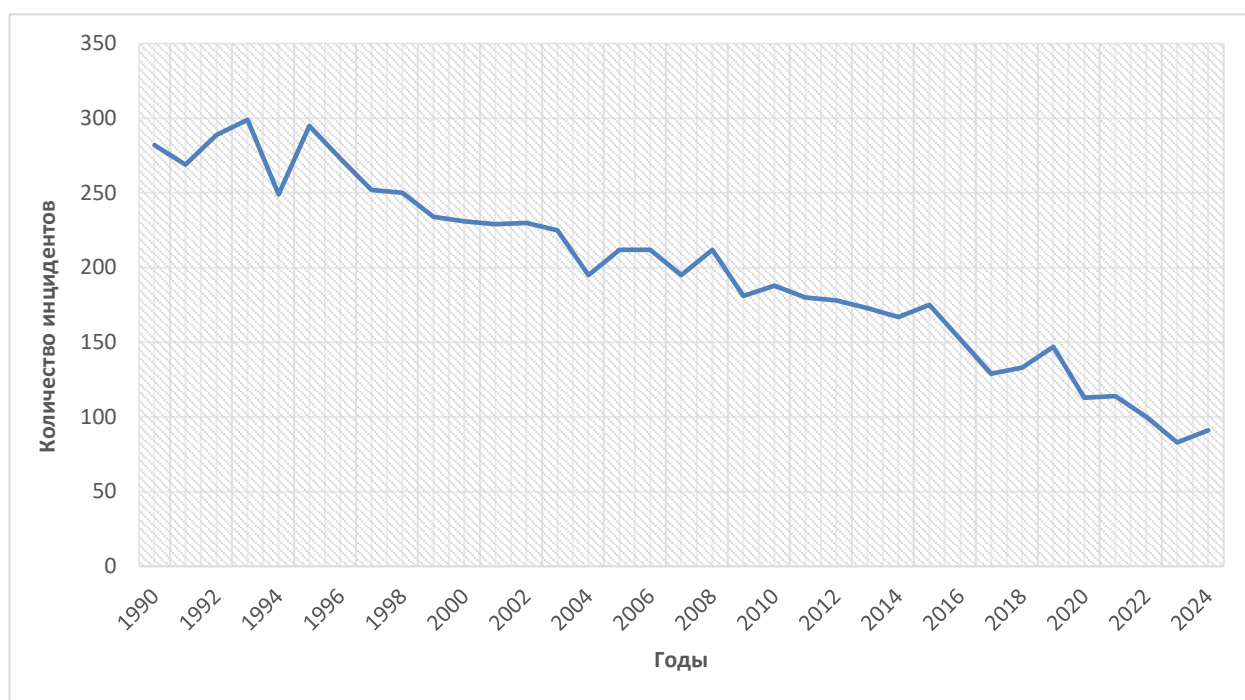


Рисунок 3 – Количество авиационных происшествий за 1990-2024 годы

³ Статистика бюро авиационных происшествий за 1990-2024 годы. URL: <https://www.baaa-acro.com/statistics>

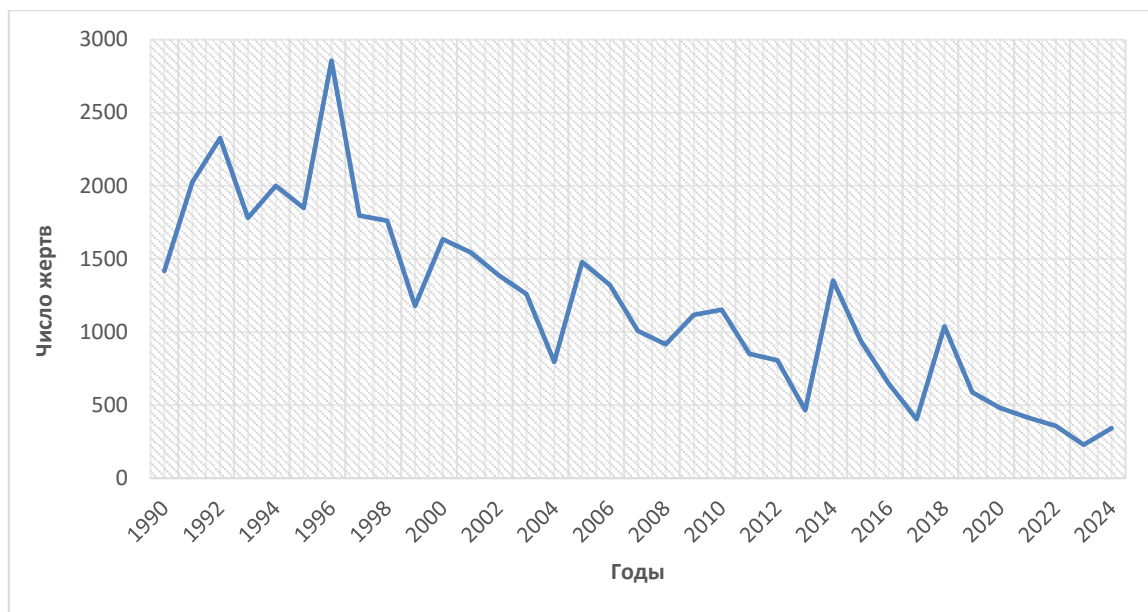


Рисунок 4 – Число жертв авиационных происшествий за 1990-2024 годы

Исследование предметной области. Причины авиационных происшествий могут быть различны, начиная от случайности объективного характера, которую невозможно предугадать, например, попадание птиц в двигатель самолета, заканчивая террористическим актом. Авторы работы [3] проанализировали причины, приведшие к авиапроисшествиям, и пришли к выводу, что в большинстве случаев срабатывает человеческий фактор, второе место занимает неисправность техники или плохое качество топлива, далее следует воздействие внешней среды, в том числе резкое изменение погодных условий, наконец, отдельные происшествия происходят вследствие террористического акта, саботажа или каких-то неустановленных факторов. Заключение о причинах выносится на основании расследования, процедура которого строго регламентирована. На международном уровне регламент расследования определяется Приложением 13 к Конвенции о международной гражданской авиации⁴, в Российской Федерации – Постановлением Правительства РФ от 18.06.1998 г. № 609 «Об утверждении Правил расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации» (далее – Правила).

⁴ Приложение 13 к Конвенции о международной гражданской авиации «Расследование авиационных происшествий и инцидентов». – 13-е изд. – ИКАО, 2024.

В нормативно-правовой базе закреплено понятие расследования – это процесс, проводимый с целью предотвращения авиационных происшествий и включающий сбор и анализ информации, подготовку заключений, включая установление причин и выработку рекомендаций по обеспечению безопасности полетов⁵.

Реализация данного процесса требует качественного информационного обеспечения, представленного в виде комплекса автоматизированных систем. Одной из таких систем является система предоставления данных об авиационных происшествиях и инцидентах ADREP, эксплуатируемая и обслуживаемая Международной организацией гражданской авиации. Функционал системы предназначен для сбора, обработки, хранения и передачи данных об авиационных происшествиях и инцидентах для повышения авиационной безопасности⁶. Существуют также региональные системы управления безопасностью полетов: в США функционирует система ASIAS, в Европе – Data4Safety, в азиатском регионе – AP-SHERE, в РФ – информационная система безопасности полетов, включающая системы АСОБП, СИМБАД и АМРИПП⁷. К системам управления безопасностью полетов относятся и бортовые системы, в частности, система технического обслуживания CMS, система мониторинга состояния самолета ACMS и другие [4]. Указанные системы предназначены для сбора, анализа и обмена информацией по безопасности авиационной деятельности. Их можно использовать в качестве информационной поддержки процесса расследования, но не для принятия решений.

Авиационные системы совершенствуются, внедряются инновационные методы, обеспечивающие повышение эффективности управления безопасностью полетов, системы [5, 6], исследуется направление модернизации системы коммуникации для снижения количества отказов при наземном обслуживании воздушных судов [7], анализируется возможность применения технологий искусственного интеллекта для

⁵Постановление Правительства РФ от 18.06.1998 г. № 609 «Об утверждении Правил расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711065?ysclid=m2nstyrlbz848578386>

⁶ ICAO ADREP // Skybrary aviation safety. – URL: <https://skybrary.aero/articles/icao-aerodrome-reference-code>

⁷ Система управления безопасностью полетов как основа развития авиатранспортной системы // Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е.Жуковского». – URL: <https://nrczh.ru/articles/sistema-upravleniya-bezopasnostyu-polyetov-kak-osnova-razvitiya-aviatransportnoy-sistemy>

обеспечения безопасности полетов [8–10]. В приведенных примерах речь идет о повышении уровня авиационной безопасности за счет текущего контроля состояния полета. Вместе с тем авиационная безопасность во многом зависит от корректности результатов расследования авиационных происшествий, поскольку понимание причины события позволяет принять меры по его предотвращению в дальнейшем.

В современной научной литературе тема расследования авиационных происшествий освещается с различных сторон. Исследователей интересуют вопросы организационно-процессуального характера [11], отказы авиационной техники [12], методы обработки данных, полученных с места происшествия [13–14], математическое моделирование событий [15]. При этом вопросы автоматизации процесса расследования не затрагиваются.

Таким образом, актуальна задача разработки системы, обеспечивающей поддержку принятия решений при расследовании авиационных происшествий.

Целью настоящего исследования является моделирование автоматизированной системы, позволяющей осуществлять анализ совокупности данных, собранных в процессе расследования, и предлагать решения по установлению причин авиационных происшествий. Для достижения цели проведен системный анализ процесса расследования, разработана концептуальная модель системы, на основании которой построена графическая модель. Проведена формализация переменных, для каждой из функциональных подсистем определены множества входных и выходных данных, разработаны математические модели.

Системный анализ процесса расследования. Расследование авиационных происшествий с воздушными судами Российской Федерации и воздушными судами иностранных государств на территории РФ находится в компетенции Межгосударственного авиационного комитета (МАК) и проводится комиссией по расследованию с привлечением необходимых специалистов. Обязанности по организации, контролю всех этапов расследования, координированию действий участников возлагаются на председателя комиссии. В составе комиссии, как правило, формируются подкомиссии (группы) по основным направлениям работ, в числе которых группа поисковых и аварийно-спасательных работ, группа по составлению

схемы места происшествия, группа опроса. Собранные группами сведения о событии передаются в группу расчета и анализа, которая их обобщает и анализирует, а также проводит восстановление и анализ информации, накопленной бортовыми самописцами [16]. Очевидно, что входная информация разнородна и не структурирована. Этот факт позволил определить первую из задач – разрабатываемая система должна быть наделена функционалом обработки неструктурированных данных для их преобразования в простые высказывания.

Правилами определены классы авиационных событий, подлежащих расследованию: авиационные происшествия, авиационные инциденты (серьезные авиационные инциденты) и производственные происшествия. Авиационные происшествия в свою очередь подразделяются на катастрофы, то есть происшествия с человеческими жертвами, и аварии – события, которые обходятся без жертв, но либо имеются серьезные повреждения воздушного судна, либо воздушное судно пропадает без вести или оказывается в таком месте, где доступ к нему невозможен. Под авиационным инцидентом понимается не закончившееся авиационным происшествием событие, при котором выявлены отклонения от нормального функционирования воздушного судна, могущее оказать влияние на безопасность полета. Если обстоятельства указывают на то, что едва не имело место авиационное происшествие, событие классифицируется как серьезный авиационный инцидент. В остальных случаях, если зафиксировано повреждение воздушного судна, используется термин «производственное происшествие». Исходя из этого, следующей задачей разрабатываемой системы является идентификация события, то есть установление его принадлежности одному из классов.

Как видим, в действующих нормах разграничены понятия авиационного происшествия и инцидента, но поскольку процесс расследования любого события, подлежащего расследованию, предполагает сбор и анализ информации с целью установления его причины, после того, как событие прошло идентификацию, для дальнейшего исследования его принадлежность какому-либо классу не имеет существенного значения, в связи с этим далее в работе термины «событие», «происшествие» и «инцидент» будем считать синонимичными.

При проведении расследования следует учесть тот факт, что несколько авиационных происшествий могут произойти по одной и той же причине. Примером может служить серия катастроф с участием самолетов Boeing 737 Max, унесшая жизни 189 человек в октябре 2018 года и 157 человек в марте 2019 года. Как показали результаты расследования, впоследствии подтвержденные компанией Boeing, в каждом из этих случаев имел место сбой в работе автоматической системы управления самолетом⁸. Таким образом, в разрабатываемой системе следует учесть возможность принятия решений относительно причин происшествия на основании анализа прецедентов.

В большинстве случаев следует ожидать, что соответствие прецедентам не будет установлено. Это объясняется тем, что, во-первых, авиационные происшествия случаются нечасто, и их причины могут быть самые разные, а во-вторых, поступающая информация о событии фрагментарна, в ходе расследования приходится ее восстанавливать, доопределять, в частности методами математического моделирования, в итоге совершенно разные факты могут указывать на одну и ту же причину. Работая с информацией с высоким уровнем энтропии, комиссия по расследованию выдвигает несколько версий о причинах произошедшего события, круг которых в ходе расследования постепенно сужается, приведя в конечном итоге к одной, наиболее вероятной. Таким образом, в системе должен быть реализован функционал формирования следственных версий или гипотез.

Процесс расследования сводится к проверке выдвинутых гипотез эвристическими и логическими методами, и, аналогично криминальной практике, его можно декомпозировать на три этапа: формирование фактической базы версии на основании исходных данных; формирование теоретической базы версии в связи с недостатком информации; формирование базы версионного вывода (вероятностного умозаключения) [17]. Заключительный этап предполагает построение модели логического вывода и проверку правильности логических рассуждений, что позволяет выдвинуть еще одно требование к создаваемой системе.

⁸ A Complete Timeline of the Boeing 737 Max Disaster. URL: <https://www.rollingstone.com/culture/culture-features/boeing-737-max-disasters-timeline-1235007089/>

Финалом процесса расследования авиационного происшествия является «окончательный отчет», который должен полностью обосновать заключение о причинах происшествия и рекомендации комиссии. Процесс подготовки такого отчета целесообразно автоматизировать, в связи с чем разрабатываемую систему следует наделить функционалом принятия решения касательно наиболее вероятной версии и формирования итогового заключения.

Концептуальная модель системы. Проведенный анализ позволил определить концептуальную модель системы поддержки принятия решений при расследовании авиационных происшествий. Система должна функционально обеспечивать решение следующих задач:

1. Декомпозиция исходных данных на простые высказывания
2. Идентификация события
3. Оценка соответствия события прецедентам
4. Формирование следственных гипотез
5. Построение модели логического вывода и проверка правильности логических рассуждений
6. Принятие решений и формирование итогового заключения.

Сформулированные требования определили структуру системы (рисунок 5). В состав системы входит база знаний, состоящая из нескольких разделов, в числе которых описание инцидентов и характеризующих их фактов, результаты семантического анализа данных (множество фреймов), правила логического вывода, итоговое заключение и вероятность его истинности.

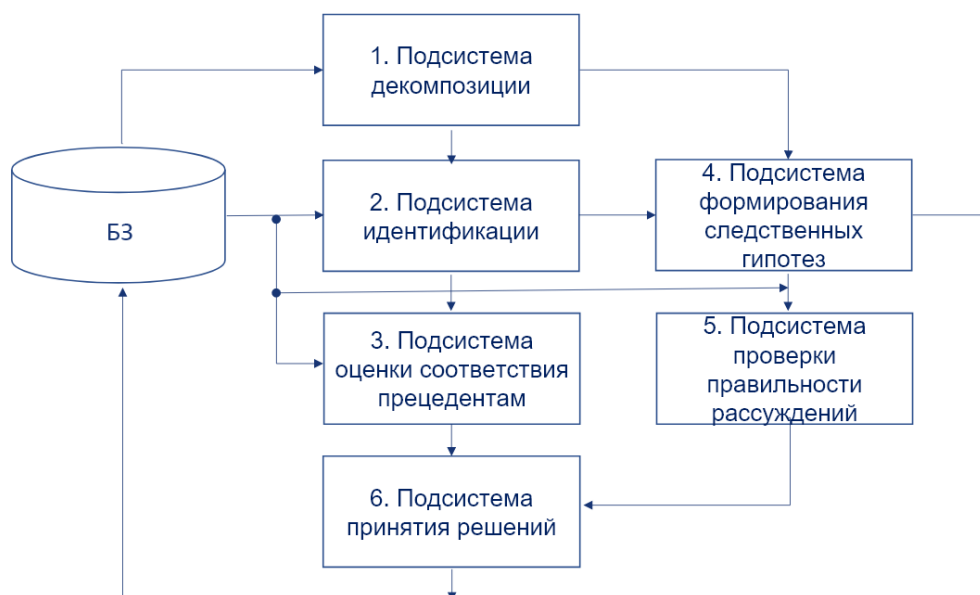


Рисунок 5 – Структура системы поддержки принятия решений

Представленная модель может быть описана в виде графа $G = \{V, E\}$, где G – множество вершин, характеризующих подсистемы, G – множество вершин, характеризующих подсистемы, E – множество дуг, описывающих набор входных и выходных данных для каждой из подсистем, где

$V = \{v_1, \dots, v_7\}$:

v_1 - подсистема декомпозиции

v_2 - подсистема идентификации

v_3 - подсистема оценки соответствия прецедентам

v_4 - подсистема формирования следственных гипотез

v_5 - подсистема проверки правильности рассуждений

v_6 - подсистема принятия решений

v_7 - база знаний;

$E = \{e_1, \dots, e_{11}\}$:

e_1 - исходные неструктурированные данные

e_2 - множество простых высказываний (фреймов)

e_3 - признаки событий

e_4, e_{11} - вид события

e_5 - прецеденты

e_6 - фреймы, разделенные на множество предпосылок и заключений

e_7 - следственные гипотезы

e_8 - правила логического вывода

e_9 - вероятности истинности следственных гипотез

e_{10} - заключение о причинах события

Графическая модель системы на представлена рисунке 6.

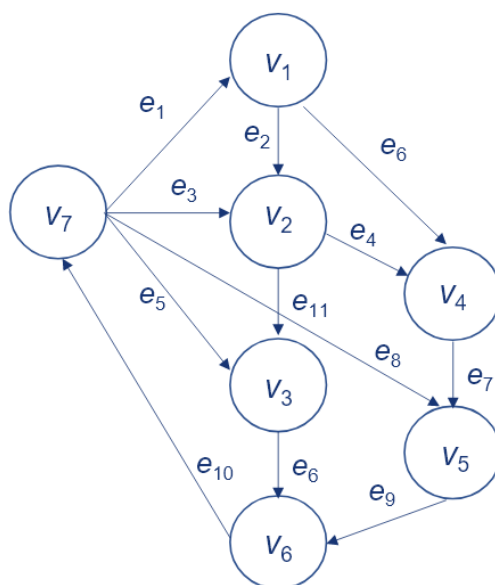


Рисунок 6 – Графическая модель системы поддержки принятия решений

Для разработки математических моделей функциональных подсистем осуществлена формализация переменных в виде множеств:

U – множество событий, подлежащих расследованию, $U = \{u_i\}_{i \in I}$

X_i – множество признаков, характеризующих событие u_i , $X_i = \{x_{ij}\}_{j \in J}$

R – множество видов событий, $R = \{r_k\}_{k \in K}$

P_k – множество признаков, определяющих вид события r_k , $P_k = \{p_{kl}\}_{l \in L}$

Y – множество следственных гипотез, $Y = \{y_m\}_{m \in M}$

Z – множество решений, $Z = \{z(u_i)\}_{i \in I}$

I, J, K, L, M – множества индексов.

Элементы множеств X_i и P_k должны представлять собой простые высказывания – неделимые утвердительные предложения, о которых можно судить, истинны они или ложны. Формальное представление признаков различных классов событий в таком виде легко реализуемо за счет того, что они регламентированы Правилами.

Модель подсистемы декомпозиции. При формализации признаков инцидента возникают сложности, связанные с тем, что исходная информация в большинстве случаев не имеет четкой структуры. Для устранения этой проблемы предусмотрена семантическая процедура разбиения совокупности данных об инциденте на простые высказывания, реализованная в подсистеме декомпозиции [18].

Если под множеством X_i понимать совокупность данных об инциденте u_i , то задача сводится к нахождению разбиения $\pi_i = \{X_{ij} | j \in J\}, i \in I$, обладающего следующими свойствами:

$$\begin{aligned} \forall j \in J \quad X_{ij} &\neq \emptyset \\ \forall j_1, j_2 \in J (j_1 \neq j_2) \quad X_{ij_1} \cap X_{ij_2} &= \emptyset \\ \bigcup_{j \in J} X_{ij} &= X_i \end{aligned}$$

Ужесточим первое свойство, предположив, что каждый блок разбиения содержит ровно один элемент: $\forall j \in J |X_{ij}| = 1$.

Таким образом, получаем n_i -блочное разбиение множества X_i на одноэлементные подмножества, где n_i – количество простых высказываний, характеризующих событие u_i . Не ограничивая общности, преобразуем блоки разбиения X_{ij} в элементы множества X_i : $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in_i}\}$.

Модель подсистемы идентификации. С учетом введенных обозначений математическая постановка задачи заключается в том, чтобы $\forall u_i \in U$ установить соответствие элементам множества $r_k \in R$.

Иначе говоря, достаточно проверить условие наличия признака события:

$$\exists x_{ij} \in X_i: \quad x_{ij} \rightarrow p_{kl} \in P_k$$

Для этого зададим бинарное отношение $\alpha \subseteq X_i \times P_k$, характеризующее соответствие признаков инцидента u_i признакам события r_k . Тогда под образом элемента x из множества X_i для отношения α будем понимать множество

$$\alpha(x) = \{p \in P_k | (x, p) \in \alpha\}$$

Необходимо проверить, что существует хотя бы один элемент x_{ij} из множества X_i , имеющий образ из множества P_k , то есть

$$\exists j \in J: \alpha(x_{ij}) \neq \emptyset$$

Отнесение инцидента к классу событий r_k ($k \in K$) осуществляется на основании идентифицирующих правил:

$$\exists j \in J: \alpha(x_{ij}) \neq \emptyset \Rightarrow u_i = r_k$$

$$\forall j \in J: \alpha(x_{ij}) = \emptyset \Rightarrow u_i \neq r_k$$

Методика формирования идентифицирующих правил описана в работе [19].

Модель подсистемы оценки соответствия прецедентам. В случае, если инцидент u_i отнесен к классу событий r_k , выполняется проверка, происходили ли подобные случаи ранее, иначе говоря соответствуют ли признаки инцидента u_i признакам инцидента u_q ($i, j \in I, i > j$). Для такой проверки предусмотрена процедура, базирующаяся на идее технологии рассуждения на основе прецедентов (СВР-технологии), которая позволяет осуществлять идентификацию текущей ситуации и поиск подходящего прецедента, использовать найденный прецедент для решения проблемы и при необходимости адаптировать ранее известное решение к текущей ситуации [20].

Для оценки соответствия прецеденту формируется матрица соответствия, строки которой занумерованы признаками расследуемого инцидента, столбцы – признаками инцидента, имевшего место ранее, на пересечении находятся элементы, принимающие булевы значения: 1 – имеется соответствие признаков, 0 – нет. В общем случае матрица соответствия прямоугольная, так как число признаков инцидентов u_i и u_j ($i > j$) может не совпадать, в каждой строке и каждом столбце не более одной единицы, причем единицы не обязательно находятся на главной диагонали. Степень соответствия определяется по формуле:

$$\delta(u_i, u_j) = \frac{1}{n_i} \sum_{l=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_j} a_{lk}$$

n_i – количество признаков инцидента u_i , a_{lk} – элементы матрицы, $\delta \in [0,1]$.

При высоком уровне соответствия (от 0,8) включается решающее правило

$$\exists i, j \in I (i > j): \delta(u_i, u_j) \geq 0,8 \Rightarrow z(u_i) = z(u_j)$$

Модель подсистемы формирования следственных гипотез. Входными данными этой подсистемы является множество $X_i = \{x_{ij}\}_{j \in J}$, где x_{ij} – признаки инцидента u_i , представляющие собой простые высказывания, принимающие булевы значения $\{0, 1\}$. Задача заключается в формировании множества следственных гипотез $Y = \{y_m\}_{m \in M}$ и их формализации в виде логических формул D :

$$D: (x_{i1} \& x_{i2} \& \dots \& x_{in}) \Rightarrow y_m \quad (1)$$

где $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ – посылки, y_m – заключение.

Модель подсистемы проверки правильности рассуждений. Пусть $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ – посылки, y_m – заключение. Тогда для определения правильности рассуждения о том, что из посылок x_{ij} следует заключение y_m по логической схеме (2) требуется установить тождественную истинность формулы D (1):

$$\frac{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}}{y_m} \quad (2)$$

Для построения используются основные тавтологии алгебры логики и правила вывода в исчислении высказываний.

В результате моделирования могут получиться следующие результаты: 1) формула D тождественно истинна при любых значениях $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ – в этом случае следственная версия верна, и ее следует принять; 2) формула D тождественно ложна при любых значениях $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ – в этом случае следственная версия ложна, и ее следует отвергнуть; 3) формула D истинна при одних значениях $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ и ложна – при других. В этом случае следует обратить внимание на факты x_{ij} , которые влияют на чувствительность таблицы истинности формулы D .

Для оценки величины e предложено использовать формулу (3):

$$e = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s e_k \quad (3)$$

где e_k – значения таблицы истинности формулы D ($k = 1, \dots, s$),

s – число строк таблицы истинности формулы D , $s = 2^n$.

Модель подсистемы принятия решений. Принятие решений осуществляется на основании выбора следственной гипотезы $y \in Y$, вероятность правильности которой максимальна:

$$y: e(y) = \max_m \{e_m\}$$

Предложено реализовать представленные модели в виде сочетания традиционных алгоритмов и алгоритмов машинного обучения для семантического анализа неструктурированной информации. Система предназначена для работы в автоматизированном режиме, оставляя право принятия итогового решения, формулируемые в «окончательном отчете», за комиссией по расследованию. Рассматривается возможность интеграции предложенной системы в состав информационной системы безопасности полетов.

Список источников

1. Arnold Barnett. Cross-National Differences in Aviation Safety Records // Transportation Science. 2010. No. 44 (3). P. 322-332. DOI: [10.2307/25769502](https://doi.org/10.2307/25769502)
2. Savage I. Chapter 13 Competition on the Basis of Safety? In book: Pricing Behavior and Non-Price Characteristics in the Airline Industry. 2012. P. 297-323. DOI: [10.1108/S2212-1609\(2011\)0000003015](https://doi.org/10.1108/S2212-1609(2011)0000003015)
3. D'yachkov Dmitriy, Zolotarev Oleg. Analysis of statistics of air crashes based on the study of many factor // International Conference "Computing for Physics and Technology - CPT2020". 2020. P. 289-320. DOI: [10.30987/conferencearticle_5fd755c09f2c91.06817396](https://doi.org/10.30987/conferencearticle_5fd755c09f2c91.06817396)
4. Дубинский С.В., Стрелков В.В. Перспективные направления исследований в интересах построения комплексной системы управления безопасностью полетов // Труды МАИ. 2023. № 133. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=177674>
5. Kulik A. Artificial Intelligence-Based Aircraft Accident Threat Parrying Method // Proceedings of Telecommunication Universities. 2021. V. 7, No. 4. P. 110-117. DOI: [10.31854/1813-324X2021-7-4-110-117](https://doi.org/10.31854/1813-324X2021-7-4-110-117)
6. Барановский А.М., Мусиенко А.С. Динамические диагностические модели и метод обеспечения устойчивости контроля технического состояния бортовых систем

управления летательных аппаратов // Труды МАИ. 2024. № 139. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=183468>

7. Ильченко А.В., Ильченко Т.Е. Исследование потоков информации в транкинговой радиосети для операций наземного обслуживания воздушных судов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2023. Т. 24, № 3. С. 223–232. DOI: [10.22363/2312-8143-2023-24-3-223-232](https://doi.org/10.22363/2312-8143-2023-24-3-223-232)

8. Дорожко И.В., Мусиенко А.С. Модель мониторинга технического состояния сложных устройств с применением искусственного интеллекта // Труды МАИ. 2024. № 137. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=181885>

9. Будзко В.И., Волков М.В., Годиков Д.А. и др.. Технологии искусственного интеллекта в системе управления безопасностью авиационной деятельности // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 37. С. 126-135.

10. Долженков Н.Н., Воронов В.В., Чанушкин С.А. Особенности интеграции интеллектуальных систем на борт летательных аппаратов // Труды Академии наук авиации и воздухоплавания. 2024. № 1. С. 29-38.

11. Попов Ю.В. Система расследования авиационных происшествий // Проблемы безопасности полетов. 2020. № 7. С. 3-17. DOI: [10.36535/0235-5000-2020-07-1](https://doi.org/10.36535/0235-5000-2020-07-1)

12. Попов Ю.В. Исследование аварийной и отказавшей авиационной техники при расследовании авиационных происшествий // Проблемы безопасности полетов. 2024. № 3. С. 8-21. DOI: [10.36535/0235-5000-2024-03-2](https://doi.org/10.36535/0235-5000-2024-03-2)

13. Пахомов О.В., Тимонин А.Л. Применение методов обработки видеoinформации в целях расследования авиационных происшествий // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 34. С. 137-145.

14. Бабнищев Н.А. Возможные подходы к применению метода контент-анализа речевой деятельности пилота для расследования и предупреждения авиационных происшествий // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2023. № 1 (38). С. 19-29.

15. Гузий А.Г., Ширяев Д.А. Логико-вероятностное моделирование опасных ситуаций при расследовании авиационных событий // *Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык*. 2022. № 3. С. 6-20. DOI: [10.51955/2312-1327_2022_3_6](https://doi.org/10.51955/2312-1327_2022_3_6)
16. Майоров А.В. Расследование авиационных происшествий и инцидентов. – М.: МГТУ ГА, 2003. – 140 с.
17. Драпкин Л.Я., Шуклин А.Е. Раскрытие и расследование преступлений: ситуационный подход // *Электронное приложение к Российскому юридическому журналу*. 2018. № 5. С. 79-92.
18. Маркарян А.О., Темкин И.О. Формализация процесса расследования преступлений в социальной, природной и техногенной сферах // *Правовая информатика*. 2024. № 2. С. 91-101. DOI: [10.21681/1994-1404-2024-2-91-101](https://doi.org/10.21681/1994-1404-2024-2-91-101)
19. Пучков Л.А., Темкин И.О. Формирование баз знаний для систем контроля и управления аэрогазодинамическими процессами в угольных шахтах // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1995. № 5. С. 3-8.
20. Trofimov V.B., Temkin I.O., Solodov S.V. Application of case-based reasoning in hazard evaluation in complex process flow control // *Eurasian Mining*. 2023. No. 2. P. 41-46. DOI: [10.17580/em.2023.02.09](https://doi.org/10.17580/em.2023.02.09)

References

1. Arnold Barnett. Cross-National Differences in Aviation Safety Records. *Transportation Science*. 2010. No. 44 (3). P. 322-332. DOI: [10.2307/25769502](https://doi.org/10.2307/25769502)
2. Savage I. *Chapter 13 Competition on the Basis of Safety? In book: Pricing Behavior and Non-Price Characteristics in the Airline Industry*. 2012. P. 297-323. DOI: [10.1108/S2212-1609\(2011\)0000003015](https://doi.org/10.1108/S2212-1609(2011)0000003015)
3. D'yachkov Dmitriy, Zolotarev Oleg. Analysis of statistics of air crashes based on the study of many factor. *International Conference "Computing for Physics and Technology - CPT2020"*. 2020. P. 289-320. DOI: [10.30987/conferencearticle_5fd755c09f2c91.06817396](https://doi.org/10.30987/conferencearticle_5fd755c09f2c91.06817396)

4. Dubinskii S.V., Strelkov V.V. Promising research areas aimed at building an integrated flight safety management system. *Trudy MAI*. 2023. No. 133. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=177674>
5. Kulik A. Artificial Intelligence-Based Aircraft Accident Threat Parrying Method. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2021. V. 7, No. 4. P. 110-117. DOI: [10.31854/1813-324X2021-7-4-110-117](https://doi.org/10.31854/1813-324X2021-7-4-110-117)
6. Baranovskii A.M., Musienko A.S. Dynamic diagnostic models and method for ensuring the stability of monitoring the technical condition of on-board control systems of aircraft. *Trudy MAI*. 2024. No. 139. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=183468>
7. Il'chenko A.V., Il'chenko T.E. Research of flows information in a trunking radio network for aircraft ground handling operations. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. 2023. V. 24, No. 3. P. 223–232. (In Russ.). DOI: [10.22363/2312-8143-2023-24-3-223-232](https://doi.org/10.22363/2312-8143-2023-24-3-223-232)
8. Dorozhko I.V., Musienko A.S. A model for monitoring the technical condition of complex using artificial intelligence. *Trudy MAI*. 2024. No. 137. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=181885>
9. Budzko V.I., Volkov M.V., Godikov D.A. et al. Artificial intelligence technologies in the aviation safety management system. *Nauchnyi vestnik GosNII GA*. 2021. No. 37. 126-135. (In Russ.)
10. Dolzhenkov N.N., Voronov V.V., Chanushkin S.A. Features of the integration of intelligent systems on board aircraft. *Trudy Akademii nauk aviatsii i vozdukhoplavaniya*. 2024. No.1. P. 29-38. (In Russ.)
11. Popov Yu.V. Aircraft accident investigation system. *Problemy bezopasnosti poletov*. 2020. No. 7. P. 3-17. (In Russ.). DOI: [10.36535/0235-5000-2020-07-1](https://doi.org/10.36535/0235-5000-2020-07-1)
12. Popov Yu.V. Study of emergency and failed aircraft equipment during the investigation of aviation accidents. *Problemy bezopasnosti poletov*. 2024. No. 3. P. 8-21. (In Russ.). DOI: [10.36535/0235-5000-2024-03-2](https://doi.org/10.36535/0235-5000-2024-03-2)

13. Pakhomov O.V., Timonin A.L. Application of video information processing methods for the purposes of investigation of aviation accidents. *Nauchnyi vestnik GosNII GA*. 2021. No. 34. P. 137-145. (In Russ.)
14. Babnishchev N.A. Possible approaches to the application of the method of content analysis of the pilot's speech activity for the investigation and prevention of aviation accidents. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*. 2023. No. 1 (38). P. 19-29. (In Russ.)
15. Guzii A.G., Shiryaev D.A. Logical and probabilistic modeling of dangerous situations during the investigation of aviation events. *Crede Experto: transport, obshchestvo, obrazovanie, yazyk*. 2022. No. 3. P. 6-20. (In Russ.). DOI: [10.51955/2312-1327_2022_3_6](https://doi.org/10.51955/2312-1327_2022_3_6)
16. Maiorov A.V. *Rassledovanie aviatsionnykh proisshestvii i intsidentov* (Investigation of aviation accidents and incidents). Moscow: MGTU GA Publ., 2003. 140 p.
17. Drapkin L.Ya., Shuklin A.E.
Disclosure and Investigation crimes: situational approach. *Elektronnoe prilozhenie k Rossiiskomu yuridicheskomu zhurnalu*. 2018. No. 5. P. 79-92. (In Russ.)
18. Markaryan A.O., Temkin I.O. Formalization of the process of investigating crimes in social, natural and man-made spheres. *Pravovaya informatika*. 2024. No. 2. P. 91-101. (In Russ.). DOI: [10.21681/1994-1404-2024-2-91-101](https://doi.org/10.21681/1994-1404-2024-2-91-101)
19. Puchkov L.A., Temkin I.O. Formation of knowledge bases for control and management systems of aerogasdynamic processes in coal mines. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 1995. No. 5. P. 3-8. (In Russ.)
20. Trofimov V.B., Temkin I.O., Solodov S.V. Application of case-based reasoning in hazard evaluation in complex process flow control. *Eurasian Mining*. 2023. No. 2. P. 41-46. DOI: [10.17580/em.2023.02.09](https://doi.org/10.17580/em.2023.02.09)

Статья поступила в редакцию 13.12.2024

Одобрена после рецензирования 18.12.2024

Принята к публикации 25.04.2025

The article was submitted on 13.12.2024; approved after reviewing on 18.12.2024; accepted for publication on 25.04.2025