

УДК 351.814.2: 629.735.33

ББК 39.58

DOI 10.51955/2312-1327_2022_3_6

ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ АВИАЦИОННЫХ СОБЫТИЙ

*Анатолий Григорьевич Гузий,
orcid.org/0000-0002-8395-5333,
заместитель директора по управлению безопасностью полетов
доктор технических наук, профессор
ПАО «Авиакомпания «ЮТэйр»,
тер. Аэропорт
Ханты-Мансийск, 628012, Россия
anatoliy.guziy@utair.ru*

*Дмитрий Артемьевич Ширяев,
orcid.org/0000-0002-4819-6490,
инженер-инспектор по расследованию авиационных происшествий,
авиационных инцидентов и предпосылок к ним
ПАО «Авиакомпания «ЮТэйр»,
тер. Аэропорт
Ханты-Мансийск, 628012, Россия
dmitriy.shiryayev@utair.ru*

Аннотация. В статье изложена оригинальная формализуемая логико-вероятностная модель развития опасных ситуаций в полете, применение которой способствует углублению анализа безопасности полетов как состояния авиационной транспортной системы с охватом всех прямо или косвенно задействованных ее компонентов и интерфейсов, текущее состояние которых определяет риск авиационного происшествия в каждом конкретном полете.

Показано, что эффективность мер по снижению риска авиационных происшествий (профилактике авиационных событий) в рамках системы управления безопасностью полетов воздушных судов гражданской авиации в значительной степени определяется уровнем организации, глубиной и качеством расследования авиационных событий.

Разработанная модель имеет существенное значение для организации сбора данных и регистрации результатов расследования авиационных событий, а также факторов опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов. Она позволяет реализовать системный подход к расследованию авиационных происшествий, авиационных инцидентов и предпосылок к ним, обеспечивая охват всех прямо или косвенно задействованных компонентов авиационной транспортной системы и интерфейсов, текущим состоянием которых определяется риск авиационного происшествия в каждом конкретном полете.

Сбор и регистрация результатов расследования авиационных событий, данных о факторах опасности и риска безопасности полетов в рамках государственной системы управления безопасностью полетов гражданских воздушных судов на основе разработанной модели способствует выполнению требований международного и национального законодательства всеми участниками процесса управления безопасностью полетов.

Ключевые слова: безопасность полетов, опасные ситуации, факторы опасности, факторы предотвращения авиационных происшествий, вероятность развития опасной ситуации полета, расследование авиационных событий.

LOGIC-PROBABILISTIC MODELING OF HAZARDOUS SITUATIONS IN THE INVESTIGATION OF AVIATION EVENTS

*Anatoly G. Guziy,
orcid.org/0000-0002-8395-5333,
Deputy Director for Flight Safety Management
doctor of technical sciences, professor
PJSC UTair Aviation,
ter. Airport
Khanty-Mansiysk, 628012, Russia
anatoliy.guziy@utair.ru*

*Dmitry A. Shiryayev,
orcid.org/0000-0002-4819-6490,
aircraft accident investigation engineer
aviation incidents and prerequisites for them
PJSC UTair Aviation,
ter. Airport
Khanty-Mansiysk, 628012, Russia
dmitriy.shiryayev@utair.ru*

Abstract. The article presents an original formalizable logical-probabilistic model for the development of hazardous situations in flight, the use of which contributes to the deepening of the analysis of flight safety as a state of the air transport system, covering all its components and interfaces directly or indirectly involved, the current state of which determines the risk of an accident in each specific flight.

It is shown that the effectiveness of measures to reduce the risk of aviation accidents (prevention of aviation events) within the framework of the civil aircraft flight safety management system is largely determined by the level of organization, depth and quality of the investigation of aviation events.

The developed model is essential for organizing the collection of data and recording the results of aviation events investigation, as well as hazard and risk factors that pose a threat to the safety of civil aircraft flights. It allows you to implement a systematic approach to the investigation of aviation accidents, aviation incidents and their prerequisites, providing coverage of all directly or indirectly involved components of the air transport system and interfaces, the current state of which determines the risk of an accident in each particular flight.

The collection and registration of the results of the investigation of aviation events, data on hazard and risk factors for flight safety within the framework of the state system for managing the safety of civil aircraft flights on the basis of the developed model contributes to the fulfillment of the requirements of international and national legislation by all participants in the flight safety management process.

Key words: flight safety, dangerous situations, hazard factors, accident prevention factors, probability of development of a dangerous flight situation, investigation of aviation events.

Введение

Международные стандарты и Рекомендуемая практика (Standards and Recommended Practices – SARPs) Международной организации гражданской авиации (ИКАО) предписывают применение системного подхода к проблеме безопасности полетов (БП) во всех государствах, подписавших Конвенцию о международной гражданской авиации. SARPs предлагают всем поставщикам авиационных услуг, выполняющим и обеспечивающим международные

полеты, разрабатывать, внедрять и постоянно совершенствовать свои системы управления безопасностью полетов (СУБП). Нормативно-правовые документы России распространили требование внедрения СУБП на всех сертифицированных поставщиков авиационных услуг: с ноября 2015 года не только эксплуатанты воздушных судов (ВС), но все поставщики авиационных услуг, зарегистрированные в России, должны иметь внедренную и развивающуюся СУБП, соответствующую уровню своего развития, направлениям деятельности, располагаемым ресурсам и особенностям предоставляемых услуг [Постановление ..., 2014].

Целью проведенного исследования являлась разработка формализованной логико-вероятностной модели развития опасных ситуаций (ОС) в полете, позволяющей оценивать вероятность развития ОС по совокупности проявившихся факторов опасности (ФО) и факторов предотвращения АП.

Материалы и методы

Проблема безопасности полетов (БП) ВС гражданской авиации является проблемой всей авиационной отрасли, требующей системного подхода в масштабе всей авиационно-транспортной системы (АТС) [Гузий и др., 2021; Bolshakov et al., 2021; Filimonyuk, 2021].

Согласно ГОСТ 55585-2013 *«Безопасность полетов воздушных судов – состояние авиационной транспортной системы, при котором риск снижен до приемлемого уровня и поддерживается на этом, либо более низком уровне, посредством непрерывного процесса выявления угроз, контроля факторов риска и управления состоянием системы»*. Исходя из этого определения, управление БП сводится к управлению состоянием АТС, которая, являясь социотехнической системой, обладает всеми признаками сложной динамической системы открытого типа, поэтому подход к управлению ее состоянием может быть только системным [Гузий и др., 2021].

Система управления безопасностью полетов – системный подход к управлению безопасностью полетов, включая необходимую организационную структуру, иерархию ответственности, обязанности, руководящие принципы и процедуры [Руководство ..., 2018].

ГОСТ Р 55585-2013 дает определение СУБП с позиций теории систем: *«Система управления безопасностью полетов воздушных судов – система, состоящая из множества взаимосвязанных и упорядоченных элементов и модулей, предназначенных для обеспечения необходимого уровня безопасности полетов воздушных судов в соответствии с принятым системным подходом»*.

Однако определение СУБП, введенное SARP, нуждается в очередном уточнении: *«Системный подход – направление методологии исследований, в основе которого лежит рассмотрение объекта как целостного множества элементов в совокупности отношений и связей между ними»* [Фокин и др., 2017].

Системный подход издавна присущ мышлению человека при познании объективной реальности как в практической, так и в научной деятельности. Поэтому: под *системным подходом* понимается область научно-практической деятельности человека, заключающаяся в целенаправленном установлении и выделении взаимодействующих элементов, в определении доминирующих и дополнительных связей между элементами, наиболее объективно отражающих объективную реальность и влияющих на функционирование системы в соответствии с ее предназначением, путем предметно-орудийного и / или понятийного моделирования и принятия решения по результатам исследования [Фролкин, 2004]. Системный подход с общей теорией систем является теоретической и методологической основой системного анализа [Волкова и др., 2014].

Системный анализ – совокупность методов и средств, используемых при исследовании и создании сложных объектов: методов выработки, принятия и обоснования решений при проектировании, создании и управлении сложными системами [Волкова и др., 2014].

Основной постулат менеджмента гласит: управлять можно только тем, что измеримо. «Измерить» или оценить БП, как состояние эксплуатируемой АТС, возможно лишь при наличии достоверных и наиболее полных данных обо всех авиационных событиях, имевших место за анализируемый период, о причинах этих событий, или о факторах опасности (ФО), обуславливающих (прямо или косвенно) опасные ситуации (ОС), в которых развиваются авиационные события различной степени тяжести.

В русскоязычных версиях SARPs и в нормативных документах РФ кроме термина «фактор опасности» используются термины «опасный фактор», «фактор риска», но их отличие не раскрывается и не конкретизируется. Официальное четкое определение имеет только ФО: «*Фактор опасности* – результат действия или бездействия, обстоятельство, условие или их сочетание, влияющие на БП гражданских ВС» [Постановление ..., 2014].

В Конвенции о международной гражданской авиации ИКАО дается определение причин авиационных событий: «Причины – действия, бездействия, обстоятельства, условия и их сочетание, которые привели к авиационному происшествию (АП) или инциденту» [Конвенция..., 2020].

Основное отличие «причины» АП от «фактора опасности» заключается в том, что причины уже привели к авиационному событию, а ФО – влияют или могут влиять на БП, следовательно, приводят или могут привести к авиационному событию. Поэтому для реализации системного подхода в рамках СУБП важна информация не только о факторах, прямо или косвенно обуславливающих ОС или способствующих развитию авиационных событий, но также о других выявленных в ходе расследования ФО, даже если они не оказали влияния на развитие исследуемой ситуации или на степень тяжести события (но могли оказать влияние при некоторых условиях) [Макаренко и др., 2007; Larkin et al., 2018a; Larkin et al., 2018b; Larkin et al., 2018c].

Согласно Конвенции о международной гражданской авиации ИКАО «*Способствующие факторы* – действия, бездействие, обстоятельства, условия

или их сочетание, устранение, предотвращение или отсутствие которых уменьшило бы вероятность авиационного события или ослабило бы тяжесть последствий этого события» [Конвенция..., 2020].

При расследовании АП неоспоримую ценность представляет информация о факторах предотвращения (ФП) АП, т.е., информация о «средствах защиты» (о «барьерах»), которые оказали или должны были оказать положительное влияние на БП при возникновении конкретных ОС [Гузий и др., 2020а; Ponomarenko et al., 2019].

Согласно нормативно-правовой базе ИКАО «Средства защиты – комплекс мер по уменьшению рисков, профилактические меры контроля и восстановительные меры, осуществляемые с целью недопущения реализации ФО или их эскалации до нежелательных последствий» [Руководство ..., 2018].

Поэтому процедурам расследования, системного и факторного анализа причин авиационных событий отводится главенствующая роль, несмотря на то, что SARPs относят расследование авиационных событий к реактивным («ретроактивным») способам управления БП. Материалы расследования авиационных событий с идентификацией и анализом ФО и ФП АП – необходимое условие формирования базы данных любой СУБП.

При проведении исследования использовались методы системного анализа, теории вероятностей и математического моделирования.

Анализ и результаты

Большинство известных моделей развития ОС способствуют успешному поиску возможных вариантов развития авиационных событий [Козлов и др., 2017; Засядько и др., 2020; Гузий и др., 2020б], однако ни одна из них не позволяет формализовать процесс количественного оценивания уровня БП, то есть состояния АТС, следовательно, методически не обеспечивается процесс управления уровнем БП по результатам расследования авиационных событий.

В основу реализации системного подхода к расследованию АП и инцидентов может быть положена формализуемая логико-вероятностная модель (ЛВМ) вариантов развития авиационных событий по совокупности ФО, наличию/отсутствию и степени влияния ФП АП [Гузий и др., 2007]. Схема актуализированной ЛВМ, приведенной в соответствие с терминологией обновленных нормативно-правовых документов, представлена на рис. 1 и содержит:

- поле ФО, каждый из которых характеризуется вероятностью влияния (частотой проявления) ($p_{\text{ФО}}$) и условиями формирования ОС фиксированной степени тяжести: усложнение условий полета (УУП), сложная ситуация (СС), аварийная ситуация (АС), катастрофическая ситуация (КС);

- поле ФП АП, каждый из которых характеризуется вероятностью блокирования соответствующего ФО ($p_{\text{ФП}}$) при формировании ОС каждого уровня тяжести (УУП, СС, АС, КС).

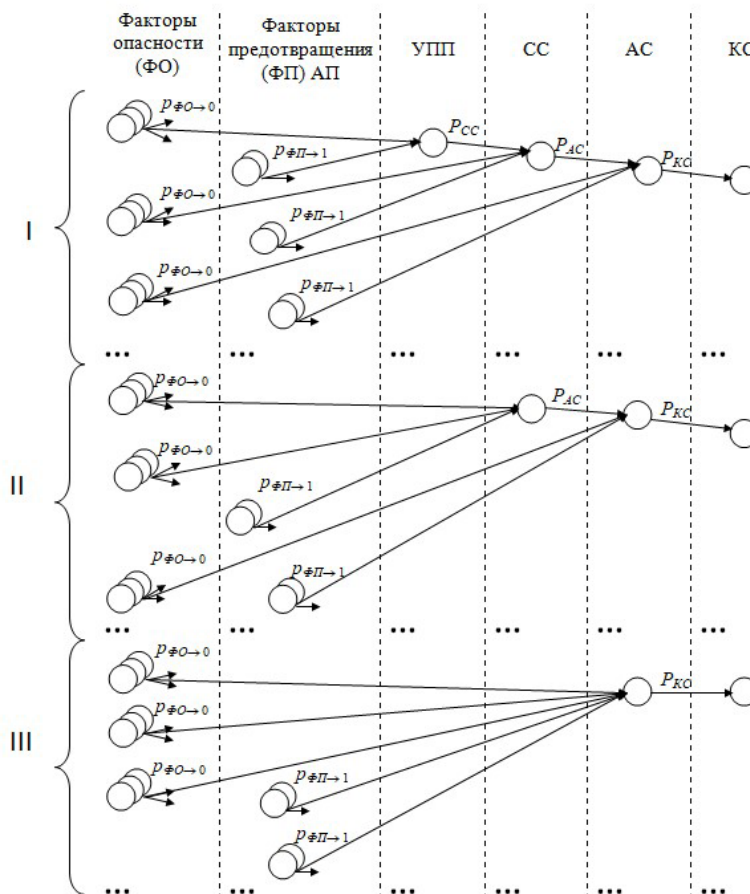


Рисунок 1 – Логико-вероятностная модель вариантов развития ОС по совокупности факторов опасности при наличии факторов, предотвращающих АП

ФО, как причинные факторы развития особых ситуаций, принято классифицировать по компонентам АТС: «человеческий фактор», «технические факторы», «среда».

Корреляция ФО и ФП АП описывается условной вероятностью опасного события при проявлении формирующего его ФО, если ФП АП блокирует ФО с некоторой вероятностью ($p_{\text{ФП}}$).

Факторы, влияющие на развитие ОС в полете, классифицируются на [Безопасность полетов..., 2003; Зубков и др., 2011]:

- непрерывные и дискретные во времени;
- однократные и многократно повторяющиеся;
- совместные и несовместные;
- зависимые и независимые.

Если совокупность из n ФО (с вероятностью проявления каждого $p_{\text{ФО}i}$) рассматривать как несовместные события, то вероятность ОС (например, УПП), обусловленной совокупным влиянием n несовместных ФО, можно выразить формулой:

$$P_{\text{УПП} (n_{\text{несовм}})} = \sum_{i=1}^n p_{\text{ФО}i} \quad (1)$$

События называются *совместными*, если наступление одного из них не исключает наступления другого [Ларкин и др., 2019]. Но в летной практике проявление одного из ФО не исключает проявление другого или других, то есть ФО некорректно рассматривать как несовместные, поскольку они, в большинстве своем, совместны (например, пониженный коэффициент сцепления на ВПП не исключает отказ системы торможения у ВС или ошибку члена экипажа на посадке).

В таком случае вероятность ОС под влиянием двух совместных ФО определяется формулой [Болховитинов и др., 1991]:

$$P_{\text{УУП}}(2_{\text{совм}}) = p_{\text{Ф01}} + p_{\text{Ф02}} + p_{\text{Ф01}} \cdot p_{\text{Ф02}} \quad (2)$$

Таким образом, согласно формуле (2), сумма вероятностей проявления совместных ФО дополняется еще вероятностью одновременного их проявления, то есть произведением $p_{\text{Ф01}} \times p_{\text{Ф02}}$.

В случае, когда на формирование ОС влияют три совместных ФО, вероятность ОС (на примере УУП) вычисляется по формуле:

$$P_{\text{УУП}}(3_{\text{совм}}) = p_{\text{Ф01}} + p_{\text{Ф02}} + p_{\text{Ф03}} + p_{\text{Ф01}} \cdot p_{\text{Ф02}} + p_{\text{Ф01}} \cdot p_{\text{Ф03}} + p_{\text{Ф02}} \cdot p_{\text{Ф03}} - p_{\text{Ф01}} \cdot p_{\text{Ф02}} \cdot p_{\text{Ф03}} \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что вероятность ОС при проявлении трех совместных факторов больше суммы вероятности проявления каждого ФО на величину произведения вероятностей трех пар {1-2, 2-3, 1-3} с вычетом произведения вероятностей трех совместных ФО {1-2-3}. Поскольку вероятность не может превышать «1», произведение $p_{\text{Ф01}} \times p_{\text{Ф02}} \times p_{\text{Ф03}}$ не может превысить ни одно из произведений пар $\{p_{\text{Ф01}} \times p_{\text{Ф02}}\}$, $\{p_{\text{Ф01}} \times p_{\text{Ф03}}\}$, $\{p_{\text{Ф02}} \times p_{\text{Ф03}}\}$. Следовательно, вероятность развития ОС под влиянием совокупности совместных ФО всегда выше, чем вероятность такой совокупности несовместных ФО.

На практике для нейтрализации или снижения степени влияния большинства факторов опасности, предпочтительно в превентивном порядке, разрабатывать (предусматривать) специальные меры, т.е. факторы предотвращения (ФП) АП или «барьеры». Степень влияния ФП определяется вероятностью $p_{\text{ФП}}$.

На практике в общем случае, для нейтрализации одного ФО может предусматриваться и более одного ФП, тогда для оценивания вероятности нейтрализации одного ФО несколькими ФП целесообразно выразить степень совместного влияния этих ФП как вероятность предотвращения одним (обобщенным) ФП $p_{\text{ФП}}$. Но при определении $p_{\text{ФП}}$ необходимо учесть, совместны или несовместны эти ФП.

Вероятность того, что фактор предотвращения АП не нейтрализует проявление соответствующего ФО:

$$q_{\text{ФП}} = 1 - p_{\text{ФП}}$$

Если каждому ФО предусмотрен соответствующий ФП, то для учета степени влияния ФП на развитие ОС формула (3) принимает вид:

$$\begin{aligned}
& P_{\text{УУП}}\left(\frac{3\text{ФО}}{\text{ФП}}\right) = \\
& = p_{\text{Ф01}} \cdot q_{\text{ФП1}} + p_{\text{Ф02}} \cdot q_{\text{ФП2}} + p_{\text{Ф03}} \cdot q_{\text{ФП3}} + p_{\text{Ф01}} \cdot q_{\text{ФП1}} \cdot p_{\text{Ф02}} \cdot q_{\text{ФП2}} + \quad (4) \\
& \quad + p_{\text{Ф01}} \cdot q_{\text{ФП1}} \cdot p_{\text{Ф03}} \cdot q_{\text{ФП3}} + p_{\text{Ф02}} \cdot q_{\text{ФП2}} \cdot p_{\text{Ф03}} \cdot q_{\text{ФП3}} - \\
& \quad - p_{\text{Ф01}} \cdot q_{\text{ФП1}} \cdot p_{\text{Ф02}} \cdot q_{\text{ФП2}} \cdot p_{\text{Ф03}} \cdot q_{\text{ФП3}}
\end{aligned}$$

При проведении расследования АП и инцидентов необходимо учитывать факты зависимости ФО друг от друга, поскольку далеко не все из них являются независимыми. Два случайных события (проявления ФО) называются *независимыми*, если наступление одного из них не изменяет вероятность наступления другого. В противном случае эти события являются зависимыми [Болховитинов и др., 1991]. Степень зависимости ФО друг от друга устанавливается корреляционным анализом, то есть методом обработки данных, с помощью которого «измеряется теснота связи» между двумя или более переменными [Болховитинов и др., 1991; Ларкин и др., 2019; Larkin et al., 2017].

Вероятность влияния последующего (зависимого) ФО может быть определена через условную вероятность, то есть при условии, что предыдущий ФО уже проявился.

В усложненных условиях полета (при развитии ОС) основные функции по парированию ОС обычно отводятся экипажу, причем исправлению подлежат не только ситуации, обусловленные влиянием ФО, относящихся к группам причинных факторов «Воздушное судно» или «Среда», но и ошибки, допущенные действиями или бездействием членов экипажа. Так при внезапном поступлении ложной, противоречивой, неопределенной информации действия члена экипажа в полете оказываются ненадежными более чем в 60% случаев [Никифоров и др., 2015; Засядько и др., 2020; Пономаренко и др., 2020]. Поэтому вероятность того, что такой ФП, как слаженные действия экипажа по нейтрализации соответствующего ФО, можно оценить: $p_{\text{ФП}}=0,4$. А вероятность того, что не нейтрализует: $q_{\text{ФП}}=0,6$. Отсюда следует, что фактор, предусмотренный как ФП для нейтрализации ФО, может оказаться дополнительным ФО, усложняющим первоначально созданную ОС (УУП).

Поэтому при анализе зависимых ФО следует учитывать, что вероятность ОС (на примере УУП), обусловленной проявлением $(i+1)$ -го ФО ($P_{\text{УУП}(i+1)}$), следующего за i -м, может значительно увеличиваться, если i -й ФО уже проявился, т.е. когда проявление i -го ФО является достоверным событием.

При этом $P_{\text{УУП}(i/i+1)}$ и $P_{\text{УУП}(i+1/i)}$ – не обязательно и далеко не всегда имеют равные значения, поскольку важно, который из ФО инициировал ОС первым. Более того, зависимость может быть однонаправленной, например, проявление такого ФО, как пониженный коэффициент сцепления ($\kappa_{\text{сц}}$) на ВПП, усложняет условия на посадке и повышает вероятность проявления такого ФО, как ошибка члена экипажа. Однако действия экипажа на вероятность пониженного $\kappa_{\text{сц}}$ не влияют.

По мере проявления дополнительных ФО ситуация в полете усугубляется, повышается вероятность развития более сложной ОС, т.е. УУП с некоторой вероятностью может перейти в СС и далее, в АС, КС.

Возвращаясь к формуле (2), вероятность УУП, обусловленного проявлением двух совместных зависимых ФО, когда вероятность проявления второго (ΦO_2) зависит от вероятности проявления первого (ΦO_1), следует выразить:

$$P_{\text{УУП (2 зав)}} = p_{\Phi O_1} + p_{\Phi O_2 / \Phi O_1} + p_{\Phi O_1} \cdot p_{\Phi O_2 / \Phi O_1} \quad (5)$$

Из очевидности неравенства

$$p_{\Phi O_2 / \Phi O_1} > p_{\Phi O_2}$$

следует, что вероятность ОС в результате проявления двух зависимых ФО выше, чем вероятность ОС в случае независимости ФО:

$$P_{\text{УУП (2 зав)}} > P_{\text{УУП (2 совм.)}}.$$

Установленный факт подлежит обязательному учету и анализу степени зависимости (влияния) факторов опасности при расследовании авиационных событий (АП и инцидентов), в причинности которых идентифицируется «Человеческий фактор» (ЧФ). При этом ЧФ следует понимать не как «учение об ошибках или нарушениях, допускаемых некоторыми индивидуумами, а как учение об эффективности и безопасности авиационной системы, в основе которого лежит понимание, что летчик (специалист) надежен лишь тогда, когда каждый компонент системы создан с учетом возможностей и ограничений человека» [Козлов, 2015; Soldatov et al., 2020; Markov et al., 2021].

Если ОС развивается в результате проявления трех зависимых ФО, то подход, примененный в выражении (5), можно распространить на выражение (3) – для определения вероятности развития ОС при проявлении трех зависимых ФО, и на выражение (4) – для определения вероятности развития ОС при проявлении совокупности трех зависимых ФО с учетом соответствующих ФП АП.

ЛВМ развития ОС (рис. 1) предусматривает варианты, когда факторы опасности могут формировать как последовательное развитие ОС (УУП – СС – АС – КС), так и минуя менее сложные ситуации, сразу СС, АС или КС – с соответствующими вероятностями $P_{СС}$, $P_{АС}$, $P_{КС}$. Для формирования и последующего применения ЛВМ при расследовании авиационных событий предполагается системный анализ, как «прикладное направление теории систем, применяемое при решении сложных слабо формализуемых проблем» [Волкова и др., 2014].

Для определения количественных значений вероятности развития каждой конкретной ОС необходимы данные о значениях вероятности проявления ФО и данные о значениях вероятности их нейтрализации соответствующими ФП АП. Такие данные могут быть получены из результатов факторного анализа ранее выполненных расследований, из результатов исследования функциональной надежности компонентов АТС и их взаимосвязей (интерфейсов), либо экспертным методом – в процессе расследования конкретного авиационного события членами комиссии по расследованию или привлекаемыми к

расследованию экспертами по соответствующим направлениям деятельности [Tobin et al., 2022; Markov et al., 2021; Тобин и др., 2020; Богомолов и др., 2017].

В целях реализации системного подхода к расследованию авиационных событий в рамках государственной СУБП предлагается следующий алгоритм восстановления хронологии развития ОС (или авиационного события, как результат развития ОС):

- установить перечень проявившихся ФО, классифицировать их на совместные-несовместные, зависимые-независимые;
- установить перечень соответствующих ФП АП;
- установить хронологию проявления ФО и время действия (влияния) каждого;
- установить факт или степень влияния каждого ФП АП;
- установить связи между всеми проявившимися ФО и ФП АП, установить моменты включения и/или разрыва связей (влияния);
- установить зависимые ФО, направленность их влияния и степень зависимости (определить условную вероятность проявления очередного зависимого ФО, если проявился предыдущий, влияющий или повлиявший на него в течение некоторого времени);
- по фактам проявления ФО синтезировать вариант развития ОС, исходя из возможных вариантов, предусмотренных ЛВМ (от факторов опасности до произошедшего авиационного события);
- по фактам проявления ФО и соответствующих им ФП АП установить моменты и причины перехода ОС от менее сложной в более сложную, начиная с момента УУП;
- учесть степень влияния (эффективность блокирования) факторов предотвращения АП, в том числе оценить выполнение ими роли не только в предотвращении неблагоприятного развития ОС, но и в снижении тяжести уже создавшейся ситуации (снижение риска АП в полете);
- установить причины проявления ФО в полете и причины низкой эффективности соответствующих предусмотренных ФП АП;
- отработать рекомендации по предупреждению повтора авиационного события, по исключению или снижению вероятности проявления наиболее значимых ФО и повышению результативности (эффективности) ФП АП.

Резюме

Согласно Постановлению Правительства РФ от 18.11.2014 г. № 1215 «О порядке разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими», Федеральное агентство воздушного транспорта собирает и регистрирует не только результаты расследования авиационных событий, но и факторы опасности. В рамках государственной

СУБП гражданских ВС Министерство транспорта Российской Федерации организует проведение анализа данных о факторах опасности и риска, разработку и реализацию мероприятий по снижению риска. Результаты исследования способствуют выполнению требований Постановления Правительства Российской Федерации всеми участниками процесса управления безопасностью полетов.

Эффективность мер по снижению риска АП (профилактике авиационных событий) в рамках СУБП в значительной степени определяется уровнем организации, глубиной и качеством расследования авиационных событий, поэтому системный подход к расследованию способствует углублению факторного и системного анализа БП, как состояния АТС, с охватом всех прямо или косвенно задействованных компонентов АТС и интерфейсов, текущим состоянием которых определяется риск АП в каждом конкретном полете.

Библиографический список

- Безопасность полетов летательных аппаратов / под ред. В.С. Иванова. М.: Изд-во ВВИА им. Жуковского, 2003. – 365 с.
- Богомолов А. В. Автоматизация обработки информации при проведении коллективных сетевых экспертиз / А. В. Богомолов, Р. С. Климов // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 11. С. 509-512.
- Болховитинов О. В. Теория вероятности и математическая статистика / О. В. Болховитинов, И. И. Волынов, Г. Е. Михалев, М. П. Подоляк. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1991. 195 с.
- Волкова В. Н. Теория систем и системный анализ / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. М.: Юрайт, 2014. 616 с.
- Гузий А. Г. Методология логико-вероятностного количественного оценивания и активного управления риском авиационных происшествий в предстоящих полетах // Проблемы безопасности полетов. 2007. № 11. С. 24-34.
- Гузий А. Г. Методика рискометрии чрезвычайных ситуаций с воздушными судами гражданской авиации / А. Г. Гузий, А. М. Лушкин, Н. А. Марков, Ю. А. Майорова // Проблемы безопасности полетов. 2020а. № 7. С. 31-41.
- Гузий А. Г. Система управления безопасностью полетов эксплуатанта воздушных судов / А. Г. Гузий, А. М. Лушкин, А. В. Мишин, Д. А. Ширяев. М.: ИД Академия Жуковского, 2021. 182 с.
- Гузий А. Г. Организационно-психологический анализ эффективности расследования авиационных событий в коммерческой авиации России / А. Г. Гузий, Ю. А. Майорова, А. В. Мишин, Д. А. Ширяев // Организационная психология. 2020б. Т. 10. № 1. С. 121-140.
- Засядько К. И. Психофизиологические особенности профессиональной деятельности летчика при визуальном поиске и обнаружении малоразмерных наземных объектов в сложных метеоусловиях / К. И. Засядько, С. К. Солдатов, А. В. Богомолов [и др.] // Психология. Психофизиология. 2020. Т. 13. № 4. С. 87-99. DOI: 10.14529/jpps200410.
- Зубков Б. В. Безопасность полетов / Б. В. Зубков, С. Е. Прозоров. М.: МГТУ ГА, 2011. 246 с.
- Козлов В. В. Теория и практика расследования авиационных событий, связанных с действиями пилота (специалиста) // Проблемы безопасности полетов. 2015. № 3. С. 26-48.
- Козлов В. В. Развитие методологии определения причин летных происшествий / В.В. Козлов, О. А. Косолапов, А. Г. Федорук // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2017. № 3-1 (84). С. 68-72.
- Конвенция о международной гражданской авиации. Приложение 13. Расследование авиационных происшествий и инцидентов. Изд.12. Монреаль: ИКАО, 2020. 72 с.

Ларкин Е. В. Исследование критериев соответствия потока событий пуассоновскому потоку / Е. В. Ларкин, А. В. Богомолов, Д. В. Горбачев, А. Н. Привалов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2019. № 1 (175). С. 3-11. DOI: 10.14489/vkit.2019.01.pp.003-011.

Макаренко В. Г. Технология построения инерциально-спутниковой навигационной системы управления транспортными средствами с нейросетевой оптимизацией состава вектора измерений / В. Г. Макаренко, А. В. Богомолов, С. В. Рудаков, А. А. Подорожняк // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 1. С. 39-44.

Никифоров Д. А. Методика оценивания потенциальной ненадежности действий летчика / Д. А. Никифоров, А. А. Ворона, А. В. Богомолов, Ю. А. Кукушкин // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 7 (175). С. 7-16.

Пономаренко В. А. Методология и практика внедрения инновационного подхода к совместным тренировкам пилотов и авиационных диспетчеров / В. А. Пономаренко, Д. В. Гандер, М. С. Алексеенко, М. В. Сомов // Проблемы безопасности полетов. 2020. № 10. С. 11-21.

Постановление Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2014 г. N 1215, г. О порядке разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими. Москва, 2014.

Руководство по управлению безопасностью полетов. Дос 9859. Изд. 4. – ИКАО, 2018.

Солдатов С. К. Априорное оценивание профессиональной надежности летчика на этапе подготовки к полетам / С. К. Солдатов, А. Г. Гузий, А. В. Богомолов // Проблемы безопасности полетов. 2007. № 8. С. 33.

Тобин Д. С. Технология обеспечения достоверности информации при проведении сетевых экспертиз / Д. С. Тобин, М. С. Голосовский, А. В. Богомолов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2020. Т. 16. № 3. С. 623-632.

Фокин А. В. Методическое обеспечение процедур управления риском для безопасности полетов коммерческой авиации / А. В. Фокин, А. Г. Гузий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. № 10 (129). С. 77.

Фролкин А. И. Системный анализ причин-факторов, содержащихся в «Правилах расследования авиационных происшествий и авиационных инцидентов с государственными воздушными судами в Российской Федерации» // Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий. Выпуск 16. М.: Полиграф, 2004. С. 87-107.

Bolshakov A. A., Kulik A. A. Algorithm of a device designed to support decision making to counter the threat of an aviation accident // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering. 2021. No. 3 (136). Pp. 46-59.

Filimonyuk L. Yu. Models and methods for a safe aviation transport systems' functioning subject to the human factor // IFAC-PapersOnLine. 20th, 2021. P. 627-630.

Larkin E. V., Bogomolov A. V., Privalov A. N., Dobrovolsky N. N. Discrete model of paired relay-race // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. 2018b. Vol. 11. No 3. P. 72-84. DOI: 10.14529/mmp180306.

Larkin E. V., Bogomolov A. V., Privalov A. N., Dobrovolsky N. N. Relay races along a pair of selectable routes // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. 2018c. Vol. 11. No 1. P. 15-26. DOI: 10.14529/mmp180102.

Larkin E., Bogomolov A., Gorbachev D., Privalov A. About approach of the transactions flow to poisson one in robot control systems Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10459 LNAI. Pp. 113-122.

Larkin E., Kotov V., Bogomolov A., Privalov A. Multiple swarm relay-races with alternative routes Lecture Notes in Computer Science. 2018a. Vol. 10941 LNCS. Pp. 361-373.

Markov N., Bogomolov A., Shishov A., Dvornikov M. Information technology concept of integration of computing resources and physical processes in cyber-physical systems for personalized information about the potential danger of an emergency situation in high-altitude flight // *Studies in Systems, Decision and Control*. 2021. Vol. 338. Pp. 205-214.

Ponomarenko V., Tretyakov V., Zakharov A. Generative games in aviation // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 823. P. 576-581.

Soldatov S. K., Bogomolov A. V., Zasyadko K. I., Vonarshenko A. P., Yazlyuk M. N. Professionally important psychophysiological qualities of flight instructors and their development // *Human Physiology*. 2020. Vol. 46. No 7. Pp. 806-810.

Tobin D., Bogomolov A., Golosovskiy M. Model of organization of software testing for cyber-physical systems // *Studies in Systems, Decision and Control*. 2022. Vol. 418. Pp. 51-60.

References

- Bezopasnost' poletov letatel'nykh apparatov [Aircraft flight safety]. Moscow: VVIA im. prof. N.Ye. Zhukovskogo, 2003. 365 p. (In Russian)
- Bogomolov A. V., Klimov R. S. (2017). Automation of information processing during collective network expertise *Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii*. Vol. 71. 11:509-512. (In Russian)
- Bolkhovitinov O. V., Volynov I. I., Mikhalev G. Ye., Podolyak M. P. (1991). *Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow: VVIA im. N. Ye. Zhukovskogo, 195 p. (In Russian)
- Bolshakov A. A., Kulik A. A. (2021). Algorithm of a device designed to support decision making to counter the threat of an aviation accident. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*. 3 (136): 46-59.
- Filimonyuk L. Yu. (2021). Models and methods for a safe aviation transport systems' functioning subject to the human factor. *IFAC-PapersOnLine*. 20th. 627-630.
- Fokin A. V., Guziy A. G. (2017). Methodological support of risk management procedures for commercial aviation flight safety. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 10 (129): 77. (In Russian)
- Frolkin A. I. (2004). Systematic analysis of the causes-factors contained in the "Rules for the investigation of aviation accidents and aviation incidents with state aircraft in the Russian Federation". *Trudy obshchestva nezavisimyykh rassledova-teley aviatsionnykh proisshestviy*. Vypusk 16. Moscow: Poligraf. Pp. 87-107. (In Russian)
- Guziy A. G. (2007). Methodology of logical-probabilistic quantitative assessment and active management of the risk of aviation accidents in upcoming flights. *Problemy bezopasnosti poletov*. 11: 24-34. (In Russian)
- Guziy A. G., Lushkin A. M., Markov N. A., Mayorova Yu. A. (2020a). Methods of risk metering of emergencies with civil aviation aircraft. *Problemy bezopasnosti poletov*. 7: 31-41. (In Russian)
- Guziy A. G., Lushkin A. M., Mishin A. V., Shiryayev D. A. (2021). Sistema upravleniya bezopasnost'yu poletov ekspluatanta vozдушnykh sudov [Flight safety management system for an aircraft operator]. Moscow: ID Akademiya Zhukovskogo, 182 p. (In Russian)
- Guziy A. G., Mayorova YU. A., Mishin A. V., Shiryayev D. A. (2020b). Organizational and psychological analysis of the effectiveness of the investigation of aviation events in commercial aviation in Russia. *Organizatsionnaya psikhologiya*. Vol. 10. 1: 121-140. (In Russian)
- Kozlov V. V. (2015). Theory and practice of investigating aviation events related to the actions of a pilot (specialist). *Problemy bezopasnosti poletov*. 3: 26-48. (In Russian)
- Kozlov V. V., Kosolapov O. A., Fedoruk A. G. (2017). Development of methodology for determining the causes of flight accidents. *Chelovecheskiy faktor: problemy psikhologii i ergonomiki*. 3-1 (84): 68-72. (In Russian)
- Convention on International Civil Aviation (2020). Annex 13. Aircraft Accident and Incident Investigation Ed. 12. Montreal: ICAO, 72 p.

- Larkin E. V., Bogomolov A. V., Gorbachev D. V., Privalov A. N. (2019). Investigation of criteria for matching the flow of events to the Poisson flow. *Vestnik komp'yuternykh i informa-tsionnykh tekhnologiy*. 1 (175): 3-11. DOI: 10.14489/vkit.2019.01.pp.003-011 (In Russian)
- Larkin E. V., Bogomolov A. V., Privalov A. N., Dobrovolsky N. N. (2018b). Discrete model of paired relay-race. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software*. Vol. 11. 3:72-84. DOI: 10.14529/mmp180306.
- Larkin E. V., Bogomolov A. V., Privalov A. N., Dobrovolsky N. N. (2018c). Relay races along a pair of selectable routes. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software*. Vol. 11. 1: 15-26. DOI: 10.14529/mmp180102.
- Larkin E., Bogomolov A., Gorbachev D., Privalov A. (2017). About approach of the transactions flow to poisson one in robot control systems. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 10459 LNAI: 113-122.
- Larkin E., Kotov V., Bogomolov A., Privalov A. (2018a). Multiple swarm relay-races with alternative routes. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 10941 LNCS: 361-373.
- Makarenko V. G., Bogomolov A. V., Rudakov S. V., Podorozhnyak A. A. (2007). Technology for building an inertial satellite navigation system for vehicle control with neural network optimization of the composition of the measurement vector. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye*. 1: 39-44. (In Russian)
- Markov N., Bogomolov A., Shishov A., Dvornikov M. (2021). Information technology concept of integration of computing resources and physical processes in cyber-physical systems for personalized information about the potential danger of an emergency situation in high-altitude flight. *Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 338: 205-214.
- Nikiforov D. A., Vorona A. A., Bogomolov A. V., Kukushkin Yu. A. (2015). Methods for assessing the potential unreliability of a pilot's actions. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 7 (175): 7-16. (In Russian)
- Ponomarenko V. A., Gander D. V., Alekseyenko M. S., Somov M. V. (2020). Methodology and practice of introducing an innovative approach to joint training of pilots and air traffic controllers. *Problemy bezopasnosti poletov*. 10: 11-21. (In Russian)
- Ponomarenko V., Tretyakov V., Zakharov A. (2019). Generative games in aviation. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 823: 576-581.
- Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 18 noyabrya 2014 g. N 1215, g. O poryadke razrabotki i primeneniya sistem upravleniya bezopasnost'yu poletov vozdushnyh sudov, a takzhe sbora i analiza dannyh o faktorah opasnosti i riska, sozdayushchih ugrozu bezopasnosti poletov grazhdanskih vozdushnyh sudov, hraneniya etih dannyh i obmena imi. Moskva, 2014. (In Russian). Safety Management Manual, Fourth Edition. Doc 9859. Montreal: ICAO, 2018.
- Soldatov S. K., Bogomolov A. V., Zasyadko K. I., Vonarshenko A. P., Yazlyuk M. N. (2020). Professionally important psychophysiological qualities of flight instructors and their development. *Human Physiology*. Vol. 46. 7: 806-810.
- Soldatov S. K., Guziy A. G., Bogomolov A. V. (2007). A priori assessment of the professional reliability of a pilot at the stage of preparation for flights. *Problemy bezopasnosti poletov*. 8: 33. (In Russian)
- Tobin D. S., Golosovskiy M. S., Bogomolov A. V. (2020). Technology for ensuring the reliability of information during network expertise. *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovaniye*. Vol. 16. 3: 623-632. (In Russian)
- Tobin D., Bogomolov A., Golosovskiy M. (2022). Model of organization of software testing for cyber-physical systems. *Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 418: 51-60.
- Volkova V. N., Denisov A. A. (2014). Teoriya sistem i sistemnyy analiz [Theory of systems and system analysis]. Moscow: Yurayt, 616 p. (In Russian)
- Zasyad'ko K. I., Soldatov S. K., Bogomolov A. V., Vonarshenko A. P., Yazlyuk M. N. (2020). Psychophysiological features of the professional activity of a pilot in visual search and detection of small-sized ground objects in adverse weather conditions. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya*. Vol. 13. 4: 87-99. DOI: 10.14529/jpps200410 (In Russian)
- Zubkov B. V., Prozorov S. Ye. (2011). Bezopasnost' poletov. Moscow: MGTU GA, 2011. 246 p. (In Russian)