

Обобщенный метод анализа MFTA/GDTA/СТА/CWA как инструмент разработки авиационной интеллектуальной адаптивной системы



Г. В. Коваленко,
д-р техн. наук, профессор
кафедры летной
эксплуатации
и безопасности полетов
в гражданской авиации
Санкт-Петербургского
государственного
университета
гражданской авиации
имени Главного маршала
авиации А.А. Новикова
(СПбГУ ГА),



И. А. Ядров,
аспирант СПбГУ ГА

Обеспечение безопасности полетов при неблагоприятных погодных условиях является одним из приоритетных направлений развития автоматизированных систем управления в авиации. В СПбГУ ГА идет работа в рамках создания интеллектуальной адаптивной системы, способной выбирать оптимальный маршрут обхода грозовых фронтов.

Результаты анализа причин авиационных происшествий за период с 2000 по 2018 гг. [1] свидетельствуют о том, что в 13% из них ключевую роль сыграли сложные метеорологические условия, в которых выполнялся полет. При этом около четверти из указанных происшествий вызваны попаданием воздушного судна (ВС) в зону грозовой деятельности и сильных ливневых осадков. Этот факт свидетельствует о том, что возможность столкновения экипажа с грозowymi очагами в полете и на сегодняшний день представляет собой реальную угрозу безопасности полетов ВС.

При приближении к району опасных метеоусловий экипаж ВС самостоятельно принимает решение о том, каким образом будет происходить обход грозы, руководствуясь при этом только данными, полученными с экрана бортового радио-

локатора, и требованиями Руководства по производству полетов авиакомпании. При этом пилоты могут столкнуться с проблемой выбора оптимального маршрута обхода, который обеспечивал бы, с одной стороны, безопасность ВС от связанных с грозой опасных метеоявлений, а с другой — приемлемый уровень экономичности с точки зрения расхода топлива.

Актуальность затронутой проблемы обуславливает целесообразность разработки и внедрения особой интеллектуальной адаптивной системы (ИАС) [2], способной выбирать оптимальный с точки зрения безопасности и эффективности маршрут обхода района неблагоприятных метеорологических условий полета, а также обеспечивать интеллектуальную поддержку членов летного экипажа при принятии ими решений по обходу очагов грозовой деятельности. В настоящей работе приводятся результаты проведения аналитического этапа разработки предлагаемой ИАС поддержки принятия экипажем решений по обходу грозовых очагов с использованием обобщенного метода анализа MFTA/GDTA/СТА/CWA [3].

Использованный при создании ИАС обобщенный метод анализа основан на объединении наиболее популярных подходов, применяемых на начальных этапах разработки авиационных адаптивных систем:

- анализ целей, действий и задач (Mission, Function and Task Analysis —



MFTA) [4] является структурной основой используемого метода;

- целеориентированный анализ задач (Goal-Directed Task Analysis — GDTA) [5] позволяет определить требования по обеспечению ситуационной осведомленности оператора;

- когнитивный анализ задач (Cognitive Task Analysis — CTA) [6] и работы (Cognitive Work Analysis — CWA) [7] применяется совместно для комплексного анализа внешних и внутренних условий, обуславливающих работу ИАС.

Проведение обобщенного метода анализа MFTA/GDTA/CTA/CWA состоит из ряда этапов. В ходе анализа цели и задач (MFTA) определяются цель функционирования ИАС и основные задачи, без выполнения которых достижение цели функционирования ИАС не представляется возможным.

Анализ подзадач и требований по обеспечению ситуационной осведомленности (MFTA и GDTA) предполагает определение подзадачи системы, а также порядок распределения функций между оператором и автоматикой. Также здесь определяются данные, необходимые оператору и (или) системе для качественного выполнения каждой из подзадач.

Когнитивный анализ (CTA и CWA) предусматривает определение критических этапов работы системы, правильное и своевременное выполнение которых влияет на возможность успешного достижения цели функционирования ИАС. Также определяются неблагоприятные внешние условия, обуславливающие возможные трудности на каждом из критических этапов работы системы и внутренние (когнитивные) уязвимости системы, связанные с возможностями и ограничениями человека-оператора как элемента ИАС. Кроме того, выявляются риски, возникающие в случаях, когда негативные внешние условия оказывают чрезмерно интенсивное воздействие на внутренние уязвимости системы, а также определяются возможные последствия таких рисков и пути их предотвращения.

Одно из наиболее важных преимуществ использования обобщенного метода анализа, обуславливающее целесообразность его использования при решении рассматриваемой проблемы, заключается в том, что его применение не только сосредоточено на обеспечении ситуационной осведомленности пилотов при эксплуатации ими адаптивной автоматики ВС, но также позволяет оценить возможные риски, вызванные

внешней средой функционирования системы [3].

Целью функционирования ИАС является оказание поддержки экипажу при обходе грозы. Она может быть осуществлена при соблюдении таких условий, как исправная работа системы управления полетом FMS и прочих систем ВС, наличие информации о расположении и степени интенсивности грозовых очагов вблизи траектории полета от исправной бортовой радиолокационной станции (БРЛС), взаимодействие оператора с ИАС.

Составной сценарий работы системы [8], отражающий общий порядок ее функционирования и являющийся основой для дальнейшего анализа, имеет следующий вид:

1. ВС выполняет полет в условиях грозы, а расчетная траектория его полета пересекает грозовой очаг или находится на небезопасно близком расстоянии от него.

2. ИАС фиксирует наличие грозы вблизи расчетной траектории полета, определяет возможные способы ее обхода в горизонтальной плоскости, выбирает оптимальный и предоставляет его оператору в виде оптимальной траектории обхода на навигационном дисплее (Navigation Display — ND).

3. Оператор оценивает предложенный способ обхода и либо соглашается с ним, активируя полет по предложенной ИАС траектории, либо не соглашается, выбирая один из альтернативных способов обхода. Он может также не соглашаться с ним, внося изменения в параметры обхода или прервать работу системы.

4. В случае подтверждения оператором предложенного способа обхода, ИАС вносит информацию об изменении траектории полета в FMS и переходит в режим поиска новых грозовых очагов вблизи расчетной траектории полета.

5. Система информирует экипаж о ходе выполнения маневра обхода грозы.

В ходе анализа основных задач системы составлен перечень, определяющий последовательность их выполнения: предоставить оператору оптимальный способ обхода, способствовать его осуществлению, информировать оператора о ходе выполнения маневра, адаптировать к внешним и внутренним условиям.

Первым шагом анализа подзадач и требований по обеспечению ситуационной осведомленности (MFTA и GDTA) является анализ подзадач и распределение функций. Для каждой из выделенных на предыдущем этапе задач составлен перечень составляющих подзадач. Ре-

зультат представлен в виде перечня задач и подзадач системы:

1. Предоставить оператору оптимальный способ обхода грозового очага.

- 1.1. Зафиксировать наличие грозового очага.

- 1.1.1. Получить информацию от БРЛС о наличии грозового очага на расчетной траектории полета ВС или на заданном расстоянии от нее.

- 1.1.2. Получить от БРЛС информацию о степени опасности грозового очага.

- 1.1.3. Получить от БРЛС информацию о расстоянии D до грозового очага.

- 1.1.4. Получить от FMS информацию о значении путевой скорости W BC.

- 1.1.5. Определить время t до расчетного входа в зону грозового очага.

- 1.1.6. На основании полученной информации классифицировать обнаруженный грозовой очаг по степени опасности.

- 1.2. Определить оптимальный способ обхода грозового очага.

- 1.2.1. Получить от FMS, БРЛС и других бортовых систем информацию, необходимую для определения оптимального способа обхода грозы.

- 1.2.2. Применить алгоритм определения оптимального способа обхода грозы.

- 1.3. Предоставить оператору информацию о предлагаемом оптимальном способе обхода грозы.

- 1.3.1. Перевести оптимальный способ обхода грозового очага в совместимый с FMS сигнал для возможности их дальнейшего отображения на ND.

- 1.3.2. Выдать предупреждение экипажу: «Опасность грозы».

- 1.3.3. Отобразить предлагаемый оптимальный способ обхода грозы на ND.

2. Способствовать осуществлению обхода грозы.

- 2.1. Вступить в диалог с оператором.

- 2.1.1. Предложить оператору выбор из следующих вариантов: активировать предложенный способ обхода; отобразить альтернативный вариант обхода; изменить параметры обхода; прекратить работу системы.

- 2.1.2. При выборе первого: перейти к пункту 2.2; при выборе второго: последовательно отобразить на ND альтернативные способы обхода и при выборе одного из них перейти к пункту 2.2; при выборе третьего: внести изменения в исходные данные алгоритма определения оптимального способа обхода и перейти к пункту 1.2; при выборе четвертого: перейти в режим ожидания до распознавания следующего грозового очага.

Цель: Оказание поддержки экипажу ВС при обходе очагов грозовой деятельности

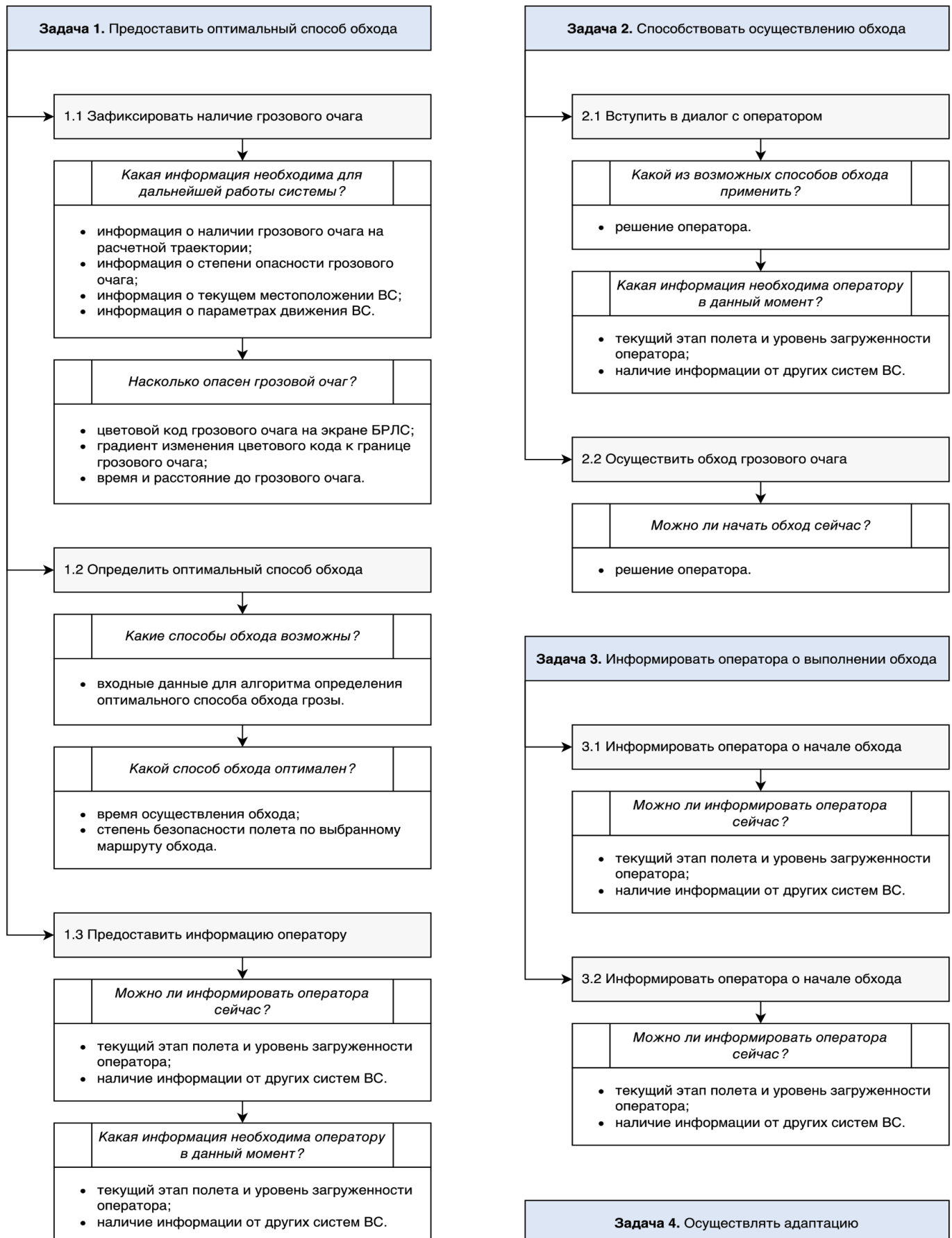


Рис. 1. Иерархическая структурная схема функционирования ИАС

2.1.3. В течение всего диалога поддерживать принятие решения, предоставляя необходимую информацию о предложенных способах обхода.

2.2. Осуществить обход грозового очага.

2.2.1. Запросить у оператора подтверждение внесения изменений в FMS для осуществления полета по выбранному маршруту обхода.

2.2.2. Внести в FMS информацию для изменения текущей траектории полета для осуществления полета по выбранному маршруту обхода.

2.2.3. После окончания выполнения обхода перейти в режим ожидания до распознавания очередного грозового очага.

3. Информировать оператора о выполнении маневра обхода.

3.1. Информировать оператора о начале выполнения маневра обхода.

3.1.1. За 5 с до начала выполнения обхода выдать информационное сообщение «5 с до обхода», сопровождающееся обратным отсчетом.

3.1.2. В момент начала выполнения обхода выдать экипажу информационное сообщение: «Начало обхода».

3.2. Информировать оператора об окончании выполнения маневра обхода.

3.2.1. За 5 с до окончания выполнения обхода выдать информационное сообщение «5 с до окончания обхода» с обратным отсчетом.

3.2.2. В момент окончания выполнения обхода выдать информационное сообщение: «Окончание обхода, возврат на расчетную траекторию».

4. Осуществлять адаптацию к внешним и внутренним условиям в течение всей работы.

Второй шаг предусматривает анализ требований по обеспечению ситуационной осведомленности. Ее можно определить как совокупность комплексного восприятия элементов окружающей среды, понимания их текущего значения, а также проекции их состояния на ближайшее будущее и прогнозирование того, каким образом различные действия и возмущения могут повлиять на их значения [9]. В этой связи определяется последовательность вопросов, на которые должна ответить система для обеспечения ее корректного функционирования и взаимодействия с оператором, а также выявляется необходимая для этого информация. По результатам строится иерархическая структурная схема функционирования ИАС (рис. 1).

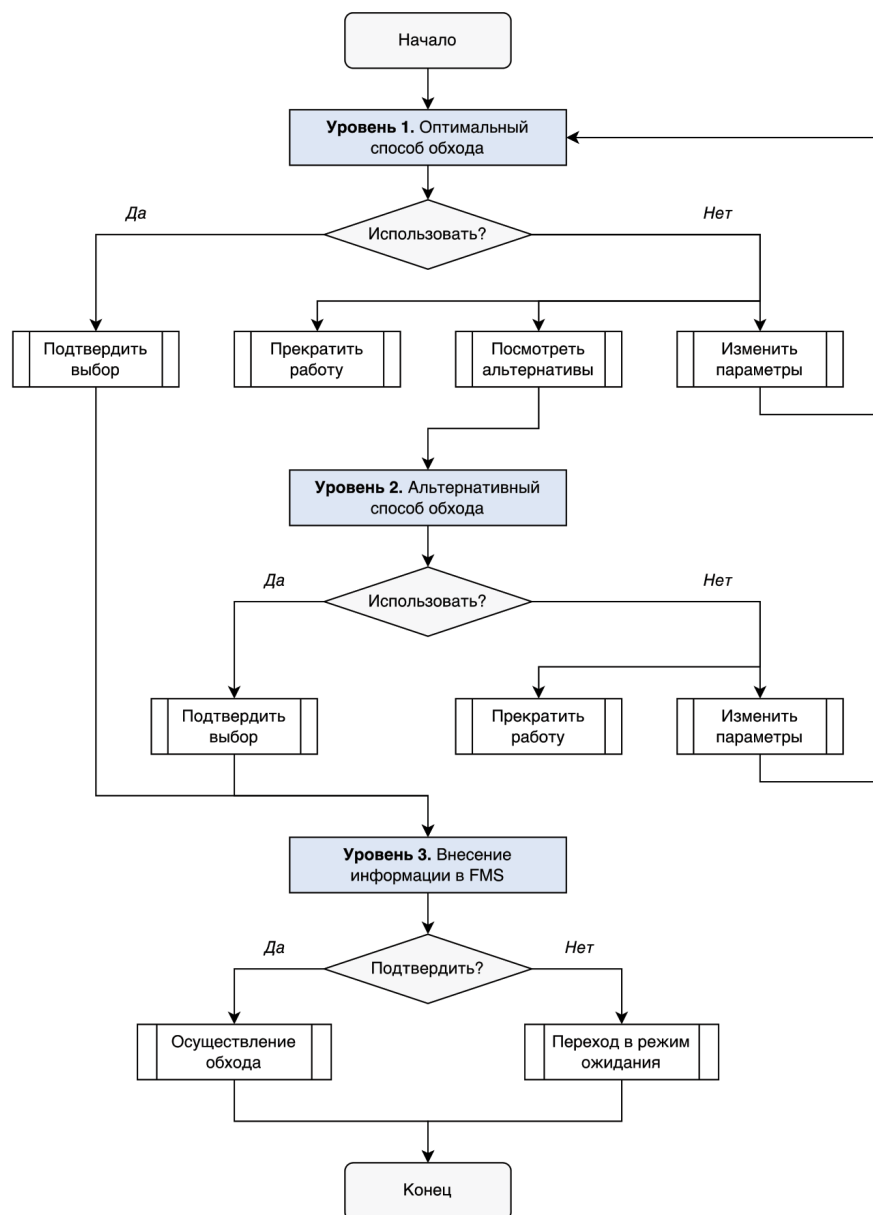


Рис. 2. Блок-схема принятия решений оператором

Когнитивный анализ (СТА и CWA) также предполагает ряд шагов. Первый из них — это анализ критических этапов функционирования ИАС. К ним относятся те, на которых оператор может существенно повлиять на дальнейшее выполнение полета. Установлено, что во время работы системы оператор принимает решения, которые могут быть разделены на три уровня и представлены в виде блок-схемы (рис. 2).

В качестве критических выбраны решения, осуществляемые оператором на первом и втором уровнях. Решения третьего уровня предусмотрены для предотвращения случайного выбора маршрута обхода и снижения вероятности ошибок оператора, поэтому в дальнейшем не рассматриваются как критические этапы работы ИАС.

Следующий шаг рассматриваемого этапа — это определение неблагоприятных

внешних условий, обуславливающих возможные трудности при принятии критических решений. К ним относятся: сложность задачи по определению оптимального маршрута обхода грозы, наличие условий неопределенности, высокий уровень рабочей нагрузки на членов экипажа, ограничения по времени, неблагоприятные метеорологические условия, повышенное психологическое давление на пилота, вызванное осознанием негативных последствий неверно принятого решения.

Далее определяются внутренние (когнитивные) уязвимости системы. Основываясь на анализе исследований в области человеческого фактора в авиации [10], выделены следующие ограничения человека-оператора, оказывающие наибольшее негативное влияние на функционирование ИАС: ограниченный объем и концентрация внимания, ко-



Рис. 3. Схема когнитивного анализа

торые могут привести к невнимательности человека-оператора и снижению его бдительности; ограниченный объем памяти; предубеждения и предвзятость при принятии решений; особенности распределения рабочей нагрузки и др.

Следующим шагом является анализ возможных рисков при выполнении когнитивных задач. Для определения рисков, которые могут возникнуть, если какие-либо негативные условия внешней среды оказывают чрезмерное влияние на когнитивные уязвимости системы, построена соответствующая схема (рис. 3).

Создание схемы когнитивного анализа позволяет определить наиболее вероятные ошибки в работе оператора на критических этапах функционирования ИАС с целью подобрать такие режимы работы машинной составляющей системы, которые будут способствовать оказанию эффективной помощи членам экипажа ВС для недопущения этих ошибок. Полученная схема (рис. 3) показывает, что для разрабатываемой ИАС наиболее значимым неблагоприятным условием функционирования является сложность задачи по выбору оптимального способа обхода грозового очага. При этом наиболее вероятные ошибки оператора могут быть связаны с проблемами распределения рабочей нагрузки.

Данный факт объясняется тем, что для выбора эффективного и безопасного маневра обхода грозы пилот должен в условиях ограниченного времени быстро и точно проанализировать ситуацию, учитывая множество различных факторов и, в то же время контролировать работу самолетных систем, вести радиосвязь с органом обслуживания воздушного движения и т. д.

На следующем этапе создания ИАС, заключающемся в определении принципов адаптации системы, необходимо выбрать такие способы осуществления и запуска адаптации [11], которые позволили бы минимизировать вероятность наступления негативных последствий, вызванных превышением рабочей нагрузки членов экипажа ВС при выполнении ими нескольких задач одновременно. Для этого могут быть использованы следующие принципы организации работы адаптивной автоматики:

Ограничить работу ИАС во время взлета, захода на посадку и посадки, которые являются наиболее опасными этапами полета [12] и, следовательно, требуют наибольшей вовлеченности со стороны членов экипажа в процесс пилотирования.

Ограничить работу ИАС при наличии сигналов от систем, оказывающих вли-

яние на безопасное завершение полета в большей мере, чем разрабатываемая система. К ним можно отнести системы предупреждения о приближении аэродинамических характеристик к критическим значениям, раннего предупреждения о близости земли и предупреждения столкновения самолетов в воздухе.

В случае информационной перегруженности экипажа предоставлять на экране ND лишь наиболее важную информацию, касающуюся предлагаемого маневра обхода, наличие которой будет достаточным для принятия пилотами решения по обходу грозового очага.

При информационной перегруженности экипажа ограничить предоставление системой информации о процессе выполнения маневра обхода.

Перечисленные меры не исчерпывают всех предполагаемых возможностей разрабатываемой ИАС по осуществлению адаптации к внешним и внутренним условиям функционирования, однако их применение может оказаться достаточным для предотвращения наиболее вероятных ошибок оператора на критических этапах работы системы. Таким образом, в настоящей статье приведены результаты применения обобщенного метода анализа MFTA/GDTA/CTA/CWA при реализации аналитического этапа разработки предлагаемой ИАС поддержки принятия экипажем ВС решений по обходу грозовых очагов.

На первом этапе проведения анализа сформулирована основная цель функционирования ИАС, заключающаяся в оказании поддержки экипажу при обходе грозы, а также определены решаемые для ее достижения задачи и подзадачи системы. На втором выделена информация, необходимая для корректной работы системы и обеспечения ситуационной осведомленности оператора при взаимодействии с ИАС. Реализация третьего этапа анализа позволила выделить критические этапы работы ИАС и установить наиболее вероятные уязвимости системы, вызванные ограничениями человека-оператора.

На основании полученной информации обоснованы основные принципы осуществления адаптации разрабатываемой системы, которые помогут снизить вероятность наступления указанных неблагоприятных последствий взаимодействия оператора и системы и включают в себя: ограничение работы ИАС на этапах взлета и посадки ВС; ограничение работы ИАС при наличии сигналов от систем, обладающих более высоким



приоритетом; изменение способа предоставления информации системой или ограничение ее работы при информационной перегруженности членов экипажа.

Следует отметить, что реализация указанных способов осуществления адаптации требует организации мониторинга текущего психофизиологического состояния членов экипажа во время их взаимодействия с ИАС. Для обеспечения эффективной работы системы необходима разработка алгоритма по определению оптимального способа обхода грозовых очагов и тщательная проработка вопросов, связанных с осуществлением адаптации ИАС к внешним условиям, включая изменения конфигурации грозового очага во время обхода.

Эти и другие важные аспекты функционирования системы предполагается развить в дальнейших исследованиях. ■

Источники

1. Сладкова Л. А. Анализ статистики авиакатастроф // Научные достижения и открытия 2019: сборник статей VIII Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза: МЦНС «Наука и Прос-

вещение», 2019. 146 с.

2. Коваленко Г. В., Ядров И. А. Перспективы применения интеллектуальных адаптивных систем поддержки принятия решений экипажами гражданских воздушных судов // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2023. № 43. С. 28–38.
3. Коваленко Г. В., Ядров И. А. Сравнительный анализ методов разработки авиационных адаптивных систем и обобщенный метод MFTA/GDTA/CTA/CWA // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. № 3 (38). С. 18–40.
4. Brace W., Cheutet V. A framework to support requirements analysis in engineering design // Journal of Engineering Design. 2012. Vol. 23. № 12. Pp. 876–904.
5. Stanton N. A. Distributed situation awareness // Theoretical Issues in Ergonomics Science. 2016. Vol. 17. № 1. Pp. 1–7.
6. Clark R. E., Feldon D. F., Van Merriënboer J. J. G. Cognitive task analysis // Handbook of research on educational communications and technology. Routledge, 2008. Pp. 577–593.
7. Naikar N. Beyond interface design: Further applications of cognitive work analy-

sis // International journal of industrial ergonomics. 2006. Vol. 36. № 5. Pp. 423–438.

8. Tourki Y., Keisler J., Linkov I. Scenario analysis: a review of methods and applications for engineering and environmental systems // Environment Systems & Decisions. 2013. Vol. 33. Pp. 3–20.
9. Bolstad C. A., Riley J. M. Using goal directed task analysis with Army brigade officer teams // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2002. Vol. 46. № 3. Pp. 472–476.
10. Salas E., Maurino D., Curtis M. Human factors in aviation: an overview // Human factors in aviation. 2010. Pp. 3–19.
11. Sheridan T. B. Adaptive automation, level of automation, allocation authority, supervisory control, and adaptive control: Distinctions and modes of adaptation // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans. 2011. Vol. 41. № 4. Pp. 662–667.
12. Rodrigues C. C. Aviation safety: Commercial airlines // International Encyclopedia of Transportation. 2021. Pp. 90–97.