

УДК 351.814:656.7

DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-5-25-36

Модели и алгоритмы поддержки принятия решений и их использование в тренажерной подготовке специалистов управления воздушным движением

А.М. Мацкевич¹

¹Белорусская государственная академия авиации, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: Организация безопасной и эффективной перевозки грузов и пассажиров воздушным транспортом требует рационализации системы управления воздушным движением. Именно от результатов деятельности данной системы зависят все качественные характеристики перевозочного процесса. При этом особая роль в данной системе отводится диспетчерскому блоку, включающему одного или нескольких специалистов управления воздушным движением, основной профессиональной обязанностью которых является управление воздушным движением в пределах зоны их ответственности на основе непрерывного контроля воздушной обстановки. В рамках данной деятельности диспетчеры ежедневно принимают важные решения, от правильности которых напрямую зависит целостность воздушных судов, безопасность экипажей, пассажиров. Отмеченное выше обуславливает высокую значимость качественной подготовки специалистов управления воздушным движением, в том числе в границах отработки умений и навыков на основе специализированных тренажерных комплексов, поэтому в рамках статьи проведен анализ современных тренажеров для подготовки диспетчеров, который позволил выделить их идентичные конструктивные элементы. Дополнительно было произведено выделение слабых сторон современной тренажерной подготовки, заключающихся в наличии значительных затрат труда инструкторов и практическом отсутствии резервов расширения типового состава рисков событий. На основании изложенного были проработаны ключевые характеристики оптимально выстроенного тренажерного комплекса, в основу которого положено использование в процессе обучения специалистов управления воздушным движением современных систем поддержки принятия решений. Адаптация данных моделей и алгоритмов позволит автоматизировать место инструктора и обеспечить динамичность системы в области пополнения возможных вариантов воздушного движения.

Ключевые слова: воздушное движение, воздушные судна, подсистема управления, профессиональная подготовка, тренажеры для подготовки диспетчеров, система поддержки принятия решений, автоматизированные системы.

Для цитирования: Мацкевич А.М. Модели и алгоритмы поддержки принятия решений и их использование в тренажерной подготовке специалистов управления воздушным движением // Научный Вестник МГТУ ГА. 2022. Т. 25, № 5. С. 25–36. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-5-25-36

Models and algorithms for decision support and their use in the simulator training of air traffic control specialists

A.M. Matskevich¹

¹Belarusian State Aviation Academy, Minsk, Republic of Belarus

Abstract: The organization of safe and efficient transportation of goods and passengers by air requires the rationalization of the air traffic control system. It is from the operating results of this system that all the qualitative characteristics of the transportation process depend on. At the same time, a special role in this system is given to the control unit inclusive of one or more air traffic control specialists, whose main professional duty is to control air traffic within their area of responsibility based on continuous monitoring of the air situation. As part of this activity, controllers daily make important decisions, the correctness of which directly affects the integrity of aircraft, crews, and passengers. The stated above causes the crucial significance of high-quality training of air traffic control specialists, encompassing the development of skills and abilities, based on specialized training complexes. Therefore, within the framework of this article, an analysis of modern simulators for training controllers was carried out, which made it possible to emphasize their identical structural elements.

Additionally, the weaknesses of modern simulator training were identified, associated with the significant labor costs for instructors and the obvious deficiency of reserves for expanding the typical composition of risk events. With reference to the stated above, the key characteristics of an optimally built training complex were worked out, based on the use of modern decision-making support systems in the process of air traffic control specialists training. Adaptation of these models and algorithms will automate the instructor's position and ensure the dynamism of the system in the field of replenishment of possible air traffic options.

Key words: air traffic, aircraft, control subsystem, professional training, simulators for training controllers, decision-making support system, automated systems.

For citation: Matskevich, A.M. (2022). Models and algorithms for decision support and their use in the simulator training of air traffic control specialists. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 25, no. 5, pp. 25–36. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-5-25-36

Введение

Система управления воздушным движением (УВД) относится к одной из наиболее сложных организационно-технических систем. Она представляет собой многомерную систему управления, которая характеризуется различными задачами, обуславливающими сложную иерархическую структуру, а также разнообразие процессов функционирования системы между ее структурными элементами. В результате ее стабильное и эффективное функционирование напрямую зависит от соблюдения ряда противоречивых требований, особое значение среди которых имеет высокая безопасность полетов наряду с высокой эффективностью их выполнения. Одновременно отмеченная сложность системы УВД значительно затрудняет процесс исследования основных аспектов внутреннего взаимодействия ее структурных элементов и не позволяет проводить объемные натурные исследования, что и обусловило существенное использование в данной сфере возможностей имитационного моделирования и специализированных программных комплексов, осуществляющих обработку и анализ поступающих данных.

Одной из составных частей системы УВД выступает диспетчерский блок (диспетчерская позиция), в рамках которого осуществляется деятельность диспетчера (специалиста) управления воздушным движением. Основной профессиональной обязанностью диспетчера является управление воздушным движением в пределах зоны его ответственности на основе непрерывного контроля траекторий движения воздушных судов и сложившейся

воздушной обстановки, т. е. в функциональные обязанности специалиста УВД фактически входит ежедневное решение ключевых управленческих задач, напрямую влияющих как на эффективность выполнения полетов, так и на целостность воздушного судна, безопасность экипажа, пассажиров (при их наличии) и сохранность грузов, перевозимых на борту. В данных условиях особую актуальность приобретают вопросы правильной подготовки специалистов УВД, позволяющей минимизировать возможность наступления рискованной ситуации, обусловленной действием человеческого фактора. При этом одним из эффективных средств профессиональной подготовки специалистов УВД выступают тренажеры, позволяющие осуществлять моделирование критических ситуаций и последующее искусственное воспроизведение отдельных параметров на основе ранее заданных сценариев.

В исследованиях последних лет проблеме совершенствования системы подготовки специалистов УВД уделено внимание в исследованиях многих специалистов. Так, этой теме посвящены такие работы, как [1–7], содержащие вопросы построения эффективных моделей профессиональной подготовки, в том числе на основе совершенствования функционала используемых тренажеров. В работах [8, 9] рассмотрены специализированные модели, алгоритмы и программы поддержки принятия решений в системе УВД. Проблеме повышения качества профессиональной подготовки диспетчеров за счет реализации индивидуального подхода к обучению с использованием процедурных тренажеров уделено внимание также в научных

трудах [10–13]. В работах [14–16] исследованы принципы построения тренажерных систем подготовки диспетчеров с использованием современных информационных технологий и интеллектуальных систем для повышения качества такой подготовки. В исследованиях [17, 18] обоснованы средства и алгоритмы принятия решений в задачах управления воздушным движением. При этом проблема повышения эффективности деятельности специалистов УВД на основе совершенствования технологического процесса их подготовки остается недостаточно проработанной. В настоящее время все еще не рассмотрены вопросы проектирования и разработки перспективных тренажерных систем для профессиональной подготовки специалистов УВД, которые позволяли бы не просто формировать навыки и умения управления, а дополнительно оценивать профессиональные способности и возможности реагирования на внештатные ситуации за счет использования различных уровней сложности упражнений и существенного варьирования их содержания. Исходя из отмеченного, целью настоящей работы является исследование наиболее распространенных моделей поддержки принятия решений и интеллектуальных технологий проектирования тренажерных систем при последующем обосновании структуры и функционала оптимально выстроенного тренажерного комплекса.

Моделирование в сфере управления воздушным движением. Основы использования систем поддержки принятия решений

Как было отмечено ранее, система УВД представляет собой многомерную организационно-техническую систему, деятельность которой направлена на обеспечение безопасного и своевременного перемещения пассажиров и грузов с помощью воздушного транспорта. В рамках функционирования данной системы осуществляется ежедневное выполнение ключевых задач, среди которых планирование воздушного движения, органи-

зация процессов перемещения пассажиров и грузов, управление воздушными судами в заданных зонах и координация воздушного движения в целом. В соответствии с отмеченными задачами система УВД включает ряд подсистем, основной из которых выступает подсистема непосредственного управления в районах аэродромов и на воздушных трассах. Упрощенная схема управления в рамках данной подсистемы представлена на рис. 1.

Итак, основным элементом подсистемы непосредственного управления системы УВД выступает диспетчерский блок, включающий одного или нескольких диспетчеров. Данные специалисты на основании планов полетов, поступающих от плановой подсистемы, и аэронавигационной информации (сведениях об аэродромах, структуре воздушного пространства, радиочастотах, средствах радиотехнического обеспечения) регулируют движение одного или нескольких воздушных судов с целью предотвращения опасных ситуаций. При этом обеспечение процесса регулирования производится с использованием специальных систем связи и навигации.

Диспетчерский блок современных систем УВД одновременно тесно связан с функционированием систем поддержки принятия решений (СППР). Данные системы на базе моделирования альтернативных вариантов действия диспетчеров в рамках различных ситуаций позволяют обеспечивать получение заданного уровня количественных показателей работы с учетом имеющихся критических величин [19]. При этом функционирование СППР не приводит к исключению диспетчера из самого течения процесса принятия решений, а лишь позволяет ему получать достоверную и комплексную входную информацию и подготавливает базу для принятия оптимального управленческого решения. Окончательный выбор стратегии поведения лежит на специалисте УВД, который с учетом полученных исходных данных в рамках установленных критериальных величин осуществляет решение поставленной перед ним задачи. Структура СППР в рамках рабочего места специалиста УВД отражена на рис. 2.



Рис. 1. Упрощенная схема функционирования подсистемы непосредственного управления системы УВД
Fig. 1. Simplified subsystem operation diagram of the direct control of the ATC system

В границах представленной структурной схемы видно, что ее системообразующим элементом является подсистема моделирования, которая обеспечивает формирование альтернативных вариантов построения траектории корректирующего маневра и определение параметров управляющих воздействий. Функционирование системы поддержки принятия решений на практике реализуется в отдельных средствах автоматизированного управления, которые на основе заложенных в них моделей и алгоритмов обеспечивают решение поставленной задачи с формированием перечня альтернатив, способствуя более быстрому решению возникших рискованных ситуаций.

Настоящие средства взаимодействуют с системой обработки информации и распознавания ситуации в рамках получения исходных данных и с диспетчером в границах предоставления результатов решения задачи. При этом вывод результатов, полученных в рамках решения оптимизацион-

ных задач, производится путем использования специалистами УВД специализированных инструментов, к которым относятся следующие [18, 20].

1. MONA (Monitoring Aids) – средство, выполняющее контроль соответствия движения воздушных средств заданным параметрам на основе анализа 4D-траекторий и осуществляющее напоминание (сигнализацию) диспетчеру о необходимых действиях.

2. SNET (Safety Net) – подсистема контроля безопасности, включающая систему предостережения о краткосрочных конфликтах STCA (Short Term Conflict Alert), функцию обнаружения воздушных средств в зонах ограничения APW (Area Proximity Warning), функцию отслеживания фактов снижения воздушных средств ниже минимальной безопасной высоты MSAW (Minimum Safe Altitude Warning) и систему обеспечения безопасной траектории воздушных судов при осуществлении посадки APM (Approach Path Monitor).

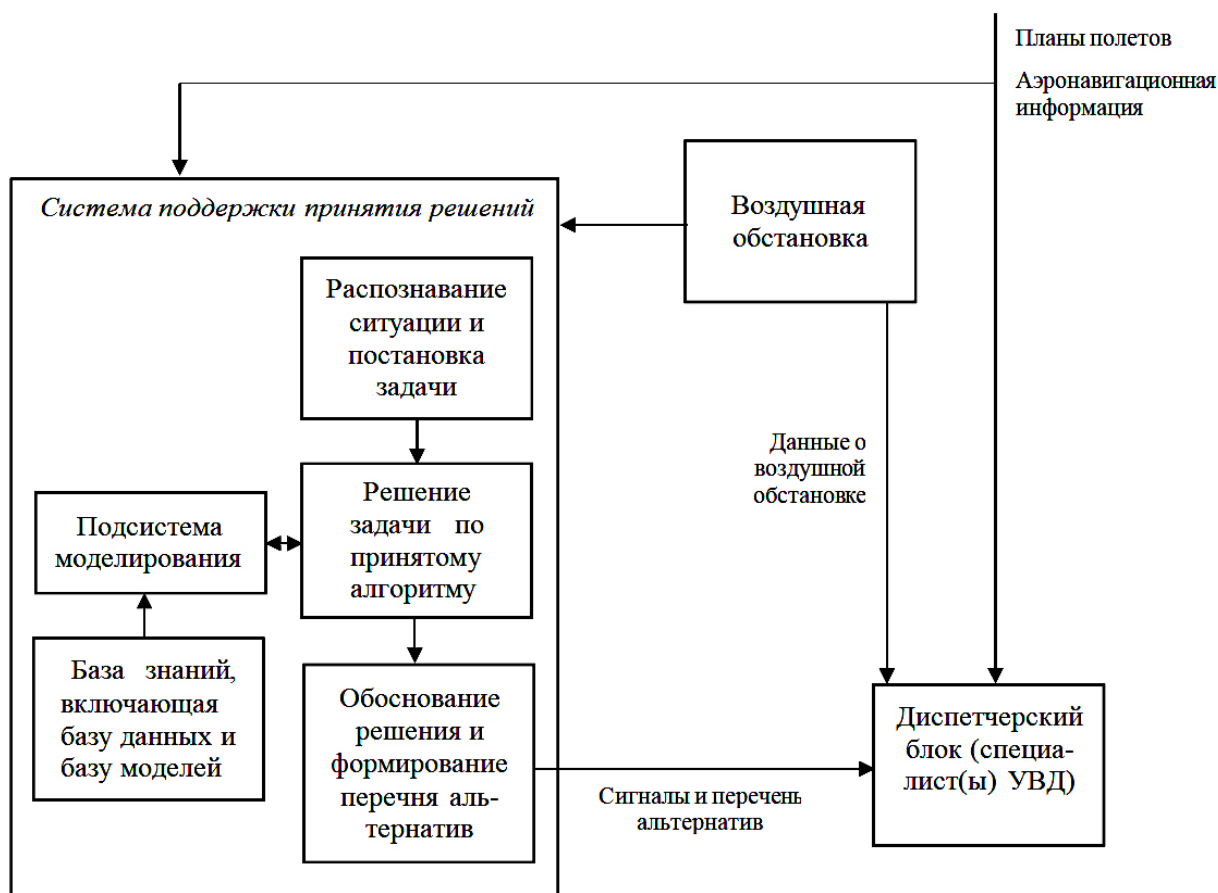


Рис. 2. Структурная схема системы поддержки принятия решений в рамках рабочего места специалиста УВД
Fig. 2. Block diagram of the decision-making support system within the workplace of an ATC specialist

3. MTCД (Medium-Term Conflict Detection) – средство обнаружения среднесрочных конфликтных ситуаций на глубине 20–60 мин на основе анализа 4D-траекторий.

4. CORA (Conflict Resolution Assistant) – система, оказывающая помощь диспетчеру в разрешении возникающих среднесрочных конфликтных ситуаций.

5. Инструменты организации прибытий и вылетов в виде AMAN (Arrival Manager) и DMAN (Departure Manager) соответственно, в рамках которых регулируется последовательность использования взлетно-посадочных полос.

Каждое из указанных средств, как было отмечено, предполагает моделирование ситуации в рамках конкретной модели и принятие решения на основе определенного алгоритма, позволяющего на основании

имеющейся исходной информации сформировать конкретные рекомендации по работе специалистов. Данные модели в большинстве своем являются стохастическими и имеют средний (mesoscopic) или высокий уровень подробности (macroscopic). Наиболее распространенными из них являются следующие модели: AirTop (AirTop Soft S.A.), AwSim (Aerospace Engineering and Research Associates, Inc.), FACET (NASA Ames), HERMES (CAA/NATS), NARIM и TARGETS (CSSI Inc.), NASPAC, SDAT и SIMMOD (FAA), National Flow Model (Boeing), OPAS (DSNA), RAMS (EEC), Regional Traffic Model (Boeing), TAAM (Preston Aviation DSF), SAAM и NEVAC (EUROCONTROL), «Синтез» (АО «ВНИИРА») и КИМ ОрВД (ГосНИИАС).

Функциональные возможности большинства из отмеченных моделей включают: моделирование траектории полета (оптимизация маршрута с учетом дальности, ветра и погодных условий), моделирование внешней среды (учет запретных зон и погодных условий), моделирование области выполнения полетов (моделирование приаэродромной зоны, коридоров движения, мест стоянки), моделирование средств связи и навигации (моделирование загрузки системы связи и обеспеченности навигационными средствами), моделирование эшелонирования (обнаружение и разрешение конфликтов), вычисление дополнительных показателей в рамках моделирования (расчет пропускной способности, мгновенного числа воздушных средств, полетного времени и самолетных задержек, возникших и разрешенных конфликтных ситуаций) и поддержку функции моделирования через предоставление протоколов моделирования и выходных отчетов. Помимо указанных функций в отмеченных моделях реализованы и иные функции, упрощающие процесс управления полетами. Одновременно в них используется ограниченный объем оптимизационных процедур (в ряде случаев для решения оптимизационных задач используются стандартные процедуры из унифицированных пакетов) и практически отсутствует учет загрузки диспетчеров и совершаемых ими ошибок. Отмеченные «узкие места» обуславливают увеличение времени, затрачиваемого на решение оптимизационных задач, и сокращение эффективности диспетчерской подготовки.

В связи с указанным выше все более широкое распространение в настоящее время находят специализированные алгоритмы оптимизации, которые адаптируются под функциональные особенности средства автоматизации УВД и подсистемы моделирования. Например, в рамках работы монитора обнаружения среднесрочных конфликтных ситуаций (MTCD) и средства разрешения конфликтных ситуаций (CORA) нашел применение алгоритм коррекции 4D-траектории движения ВС по вертикальному профилю с учетом команд диспетчера. Моделирование «конфликтной» ситуации в рамках данного

алгоритма производится в радиусе 5 мин от 4D-траектории движения на глубину до заданной высоты. В рамках работы менеджера прилета (AMAN), с целью рационального выбора посадочных курсов, реализуется алгоритм решения задачи автоматизированного реагирования на изменение конфигурации структуры воздушного пространства аэроузла. Дополнительно, в рамках моделирования посадки, используются алгоритм назначения приоритетов ВС без учета удаленности от соответствующего стандартного маршрута прилета; алгоритм последовательного формирования приоритетных списков ВС в очереди на посадку и алгоритм определения первоочередности посадки ВС на соответствующую взлетно-посадочную полосу.

Таким образом, управление воздушным движением на современном этапе неразрывно связано с функционированием систем поддержки принятия решений, реализуемых в отдельных средствах автоматизированного управления, которые на основе заложенных в них моделей и алгоритмов обеспечивают решение поставленных задач. Одновременно практика применения моделирования затрагивает и иные области управления, среди которых особый интерес представляет профессиональная подготовка специалистов УВД.

Применение моделей поддержки принятия решений в тренажерной подготовке

С учетом высокой актуальности использования основ математического и имитационного моделирования в области профессиональной подготовки специалистов УВД, наряду с изучением основ применения систем поддержки принятия решений в области организации воздушного движения, в процессе исследования был проведен анализ современных тренажеров, используемых для подготовки специалистов УВД в рамках отечественных и зарубежных организаций, который позволил выделить имеющиеся идентичные конструктивные элементы и свести их в единую схему, отраженную на рис. 3.

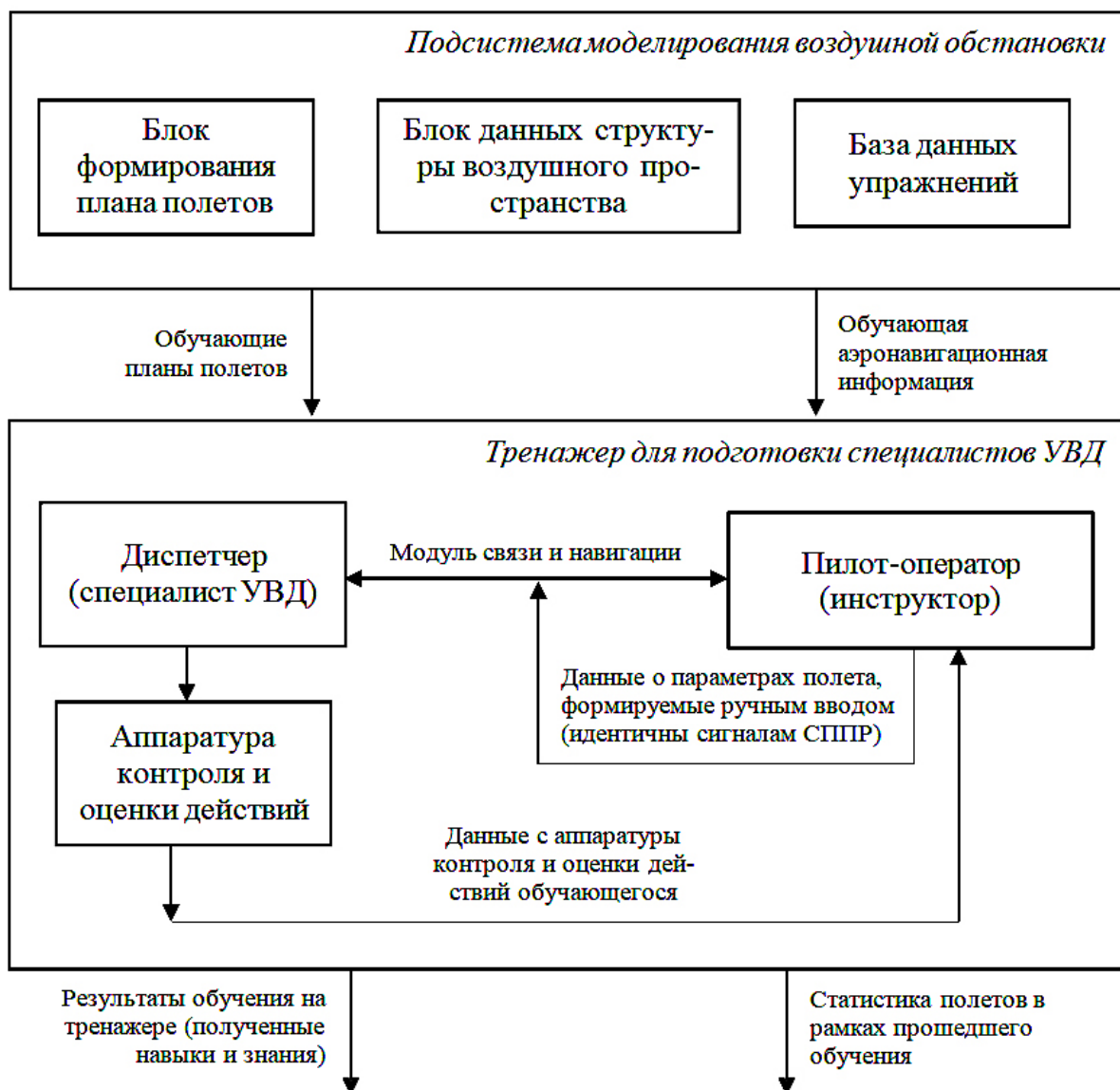


Рис. 3. Обобщенная схема тренажера для подготовки специалистов УВД
Fig. 3. Generalized diagram of a simulator for training ATC specialists

Так, основным элементом тренажерных систем, используемых для подготовки специалистов УВД, является рабочее место диспетчера, в рамках которого, исходя из смоделированных условий, производится обучение. Для организации работы тренажера привлекаются пилоты-операторы (инструкторы), в задачи которых входит моделирование контура «диспетчер – пилот ВС», в том числе в границах внесения корректировок, затрагивающих любые параметры полета, вручную. При этом количество ВС, приходящихся на одного пилота-оператора,

зачастую весьма существенное, что может вызвать задержку или ошибочный ответ с его стороны. Одновременно традиционный вариант организации тренажерной подготовки предполагает наличие на модульном этапе обучения одного псевдопилота и одного инструктора на одного обучающегося.

Работа тренажера осуществляется способом, описанным далее. В рамках функционирования подсистемы моделирования воздушной обстановки на основе имеющейся базы данных упражнений, а также блока формирования плана полетов и блока дан-

ных структуры воздушного пространства производится создание модели, характеризующейся конкретными параметрами воздушного движения. Данная модель выгружается на рабочее место диспетчера, который в режиме реального времени решает установленные задачи с учетом параметров полета, задаваемых пилотом-оператором в границах всего перечня ВС. Все действия диспетчера контролируются и оцениваются с помощью аппаратуры контроля и оценки и передаются инструктору, который в свою очередь корректирует параметры полета и выдаваемые диспетчеру данные.

В рамках описанной схемы работы диспетчер получает возможность отработки различных опасных ситуаций без наличия реального риска для целостности ВС, безопасности экипажа, пассажиров и сохранности грузов. При этом современные тренажеры обеспечивают отработку навыков диспетчеров в границах решения следующих задач:

- моделирования и искусственного воспроизведения условий внешней среды и основных показателей движения ВС в регулируемом масштабе (с возможностью настройки реального, замедленного или ускоренного варианта) в соответствии с управляющими воздействиями пилота-оператора;
- моделирования и реализации отдельных факторов рабочей среды, позволяющих обеспечить возникновение у диспетчера ощущений, соответствующих конкретно смоделированной ситуации;
- контроля, регистрации и анализа действий диспетчера и пилота-оператора в процессе решения смоделированной задачи с возможностью прерывания обучения и возврата на необходимый этап принятия решения;
- систематизации результатов обучения в рамках соответствующих отчетов и их воспроизведения.

Исходя из отмеченного, можно сделать вывод, что использование возможностей моделирования в границах функционирования тренажеров является весьма узким и затрагивает лишь область построения исходных

данных. Оценка действий обучающегося производится пилотом-оператором, а формирование грамотных алгоритмов работы осуществляется на основании практического опыта решения заданного набора упражнений. Данный вариант организации обучения требует значительных затрат труда инструкторов и практически не содержит возможности расширения типового состава рисков событий, что значительно снижает общую эффективность образовательного процесса.

Рациональное построение тренажерных комплексов требует реализации иного подхода к обучению и использованию современных технологий, оптимизирующих процесс подготовки специалистов УВД за счет грамотного информационного, программного и аппаратного сопряжения тренажерных средств. Оптимально выстроенный тренажер должен обеспечивать полноту и идентичность предоставляемой диспетчеру в процессе обучения информации и пространственно-временных характеристик его управляющих воздействий, а также предполагать решение ряда разнонаправленных задач, т. е. содержать различные виды тренировочных упражнений, соответствующих максимально возможному количеству альтернативных вариантов развития ситуаций. Кроме того, важно предусмотреть возможность модернизации разрабатываемых тренажерных систем с учетом изменения условий внешней среды и расширения комплекса необходимых для решения задач. Выполнение указанных задач и требований может быть обеспечено путем использования в тренажерных системах моделей и алгоритмов, заложенных в основу СППР, адаптация которых позволит автоматизировать место инструктора и обеспечить динамичность системы в области пополнения возможных вариантов воздушного движения.

В предложенном варианте в рамках представленной выше схемы тренажера для подготовки специалистов УВД на смену пилоту-оператору придет автоматизированная система, построенная на основе моделей поддержки принятия решений, оптимизационных ал-

горитмов, а также разработанной системы оценки действий обучающихся. В границах данных алгоритмов любое действие диспетчера в процессе обучения будет или соответствовать, или не соответствовать возможному перечню альтернатив, что и обусловит правильность выполнения упражнений. Выходные и промежуточные результаты контроля деятельности обучающихся будут заноситься в базу данных результатов тренировки, и после отработки комплекса типовых задач автоматизированная система подготовки диспетчеров будет определять степень их готовности к работе на реальном объекте или их готовность к переходу на отработку другой тренировочной задачи. Организация процесса обучения в данном варианте позволит сократить затраты труда пилотов-операторов за счет исключения необходимости постоянного мониторинга результатов деятельности обучающегося (и соответствующего высвобождения данного времени) и приведет к повышению объективности оценки, обусловленному функционированием точной математической модели и минимизацией действия человеческого фактора. Кроме того, за счет автоматизированного характера системы, в случае невыполнения какой-либо типовой задачи, будет формироваться дальнейшая индивидуальная программа подготовки обучающегося с учетом его способностей, навыков и умений. Дополнительно за счет связи с реальными алгоритмами и наличия базы данных результатов проводимых тренировок (в том числе совершаемых в ходе обучения ошибок), система обучения будет подвергаться постоянному расширению возможных исходов и рисков ситуаций, т. е. у диспетчеров будет обеспечено формирование гибких, адаптивных навыков, которые могут быть использованы в прогнозируемых реальных условиях его деятельности.

Заключение

Таким образом, в рамках проведенного исследования было однозначно установлено, что используемые в настоящее время в области

подготовки специалистов УВД тренажерные системы характеризуются наличием идентичных конструктивных элементов и единым алгоритмом работы, в рамках которого на основании смоделированной ситуации производится взаимодействие обучающегося и пилота-оператора. Данный вариант организации подготовки специалистов УВД при этом характеризуется значительными затратами труда инструкторов (пилотов-операторов), весьма узким использованием функциональных возможностей моделирования и практическим отсутствием резервов расширения типового состава рисков событий, что позволяет говорить о высокой значимости проработки ключевых характеристик оптимально выстроенного тренажерного комплекса с последующей разработкой соответствующей модели.

С целью исключения имеющихся недостатков дальнейшее развитие тренажерных комплексов предложено связывать с разработкой автоматизированных систем, выстроенных на основе использования моделей поддержки принятия решений и оптимизационных алгоритмов, а также разработанной системы оценки действий обучающихся. В границах данных алгоритмов любое действие диспетчера в процессе обучения будет или соответствовать, или не соответствовать возможному перечню альтернатив, что и обусловит правильность выполнения упражнений. Использование современных моделей и алгоритмов поддержки принятия решений в процессе подготовки специалистов УВД позволит автоматизировать место пилота-оператора (система будет использоваться взамен пилота-оператора и станет составляющей тренажерного комплекса), сократив установленный уровень затрат труда за счет исключения необходимости постоянного мониторинга результатов и соответствующего высвобождения данного времени, а также обеспечит динамичность системы в области пополнения возможных вариантов воздушного движения. Кроме того, предполагается повышение объективности оценки результатов обучения в результате функционирования точной математической модели и минимизации действия человеческого фактора.

Список литературы

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: ИНФРА-М, 2008. 356 с.

2. Дегтярев О.В., Зубкова И.Ф. Методы и особенности математического моделирования систем организации воздушного движения // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 4. С. 62–76.

3. Новожилов Г.В., Неймарк М.С., Цесарский Л.Г. Безопасность полета самолета: концепция и технология. М.: Изд-во МАИ, 2010. 196 с.

4. Обухов Ю.В. Имитационные модели, алгоритмы и программы для анализа безопасности полетов в системе управления воздушным движением: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ГосНИИАС, 2019. 23 с.

5. Онипченко П.Н., Павленко М.А., Тимочко А.И. Управление воздушным движением и перспективные направления его совершенствования // Наука и техника воздушных сил военных сил Украины. 2015. № 2 (19). С. 38–41.

6. Шатраков Ю. Автоматизированные системы управления воздушным движением. СПб.: Политехника, 2014. 450 с.

7. Иванов А.Ю., Астапов К.А., Плясовских А.П. Некоторые вопросы построения систем голосового управления в тренажерных комплексах управления воздушным движением гражданской авиации // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 198. С. 129–135.

8. Филимонюк Л.Ю. Модели и методы поддержки принятия решений для компьютерных тренажеров авиационно-транспортных систем: дис. ... канд. техн. наук. Саратов: СГТУ им. Ю.А. Гагарина, 2012. 140 с.

9. Куренко А.Б., Симонов А.А. Знаниеориентированные модели, алгоритмы и программы поддержки принятия решений в системе «руководитель полетов – летчик – летательный аппарат» // Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем: тезисы докладов Междуна-

родной научно-практической конференции. Кировоград, 17–18 декабря 2003 г. Кировоград: ГЛАУ, 2003. С. 72–73.

10. Борисов В.Е., Борсоев В.А., Бондаренко А.А. Разработка перспективных тренажеров, имеющих голосовую поддержку, с функцией автоматизации оценки навыков диспетчеров по управлению воздушным движением // Научный Вестник МГТУ ГА. 2020. Т. 23, № 6. С. 8–19. DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-6-8-19

11. Борисов В.Е., Карнаухов В.А. Методы формализации тренажерной подготовки диспетчеров управления воздушным движением // Перспективы развития науки и образования: материалы Международной научно-практической конференции. Тамбов, 30 декабря 2017 г. С. 16–19.

12. Arico P. A passive brain – computer interface application for the mental workload assessment on professional air traffic controllers during realistic air traffic control tasks / P. Arico, G. Borghini, G.D. Flumeri, A. Colosimo, S. Pozzi, F. Babiloni // Progress in Brain Research. 2016. Vol. 228. Pp. 295–328. DOI: 10.1016/bs.pbr.2016.04.021

13. Reva O. Ergonomic assessment of instructors' capability to conduct personality-oriented training for air traffic control (ATC) personnel / O. Reva, S. Borsuk, V. Shulgin, S. Nedbay // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 964. Pp. 783–793. DOI: 10.1007/978-3-030-20503-4_70

14. Горенков А.Н. Современные тренажерные и моделирующие комплексы в системе профессиональной подготовки специалистов УВД // Транспортное дело России. 2016. № 4. С. 70–73.

15. Иванов А.Ю., Панкова О.В., Плясовских А.П. Использование искусственного интеллекта в тренажерных системах обучения руководству полетами на авиационных полигонах // Вестник воздушно-космической обороны. 2014. № 4 (4). С. 108–112.

16. Павлечко М.А. Принципы построения перспективных тренажерных систем подготовки операторов АСУ динамическими объектами / М.А. Павлечко, И. Тимочко, Г.С. Степанов, В.А. Чернов // Современные

информационные технологии в сфере безопасности и обороны. 2014. № 1 (19). С. 112–117.

17. **Борсоев В.А.** Принятие решения в задачах управления воздушным движением. Методы и алгоритмы / В.А. Борсоев, Г.Н. Лебедев, В.Б. Малыгин, Е.Е. Нечаев, А.О. Никулин, Тин Пхон Чжо, под ред. Е.Е. Нечаева. М.: Радиотехника, 2018. 432 с.

18. **Коновалов А.Е., Юркин Ю.А.** Средства поддержки принятия решения диспетчерами управления воздушным движением // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 198. С. 118–123.

19. **Коникина Е.В.** Система поддержки принятия решения при оперативном управлении наземным обеспечением авиаперевозок // Научный Вестник МГТУ ГА. 2007. № 118. С. 147–152.

20. **Струкова А.В.** Обеспечение внедрения модернизируемой структуры и автоматизации процессов управления воздушным движением в зоне ответственности московского района управления воздушным движением // Информационно-технологический вестник. 2018. № 3 (17). С. 46–54.

References

1. **Buslenko, N.P.** (2008). [*Complex systems modelling*]. Moscow: INFRA-M, 356 p. (in Russian)

2. **Degtyarev, O.V. & Zubkova, I.F.** (2012). *Methods and features of mathematical simulation of air traffic management systems*. Journal of Computer and Systems Sciences International, vol. 51, no. 4, pp. 535–548.

3. **Novozhilov, G.V., Nejmark, M.S. & Czesarskij, L.G.** (2010). [*Aircraft flight safety: concept and technology*]. Moscow: Izdatelstvo MAI, 196 p. (in Russian)

4. **Obukhov, Yu.V.** (2019). [*Simulation models, algorithms and programs for the flight safety analysis in the air traffic control system: candidate of technical sciences thesis abstract*]. Moscow: GosNIIAS, 23 p. (in Russian)

5. **Onipchenko, P.N., Pavlenko, M.A. & Timochko, A.I.** (2015). [*Air traffic control and*

perspective directions of its improvement]. Nauka i tekhnika vozdushnykh sil voyennykh sil Ukrainy, no. 2 (19), pp. 38–41. (in Russian)

6. **Shatrakov, Yu.** (2014). [*Automated air traffic control systems*]. St.Petersburg: Politekhnik, 450 p. (in Russian)

7. **Ivanov, A.Yu., Astapov, K.A. & Plyasovskikh, A.P.** (2013). *Some questions of making voice command systems with apply in air traffic control training complexes*. Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 198, pp. 129–135. (in Russian)

8. **Filimonuk, L.Yu.** (2012). [*Models and methods of the decision support for computer simulators of aviation transport systems: thesis of technical sciences candidate*]. Saratov, 140 p. (in Russian)

9. **Kurenko, A.B. & Simonov, A.A.** (2003). [*Knowledge-oriented models, algorithms and decision support programs in the system "flight director – pilot – aircraft"*]. Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii v upravlenii i professionalnoy podgotovke operatorov slozhnykh sistem: tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, pp. 72–73. (in Russian)

10. **Borisov, V.E., Borsoev, V.A. & Bondarenko, A.A.** (2020). *Development of advanced voice-supported simulators with the function of automated estimation of air traffic controllers skills*. Civil Aviation High Technologies, vol. 23, no. 6, pp. 8–19. (in Russian) DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-6-8-19

11. **Borisov, V.E. & Karnaukhov, V.A.** (2017). [*Formalization methods for air traffic controllers simulator training*]. Perspektivy razvitiya nauki i obrazovaniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tambov, pp. 16–19. (in Russian)

12. **Arico, P., Borghini, G., Flumeri, G.D., Colosimo, A., Pozzi, S. & Babiloni, F.** (2016). *A passive brain-computer interface application for the mental workload assessment on professional air traffic controllers during realistic air traffic control tasks*. Progress in Brain Research, vol. 228, pp. 295–328. DOI: 10.1016/bs.pbr.2016.04.021

13. **Reva, O., Borsuk, S., Shulgin, V. & Nedbay, S.** (2020). *Ergonomic assessment of*

instructors' capability to conduct personality-oriented training for air traffic control (ATC) personnel. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 964, pp. 783–793. DOI: 10.1007/978-3-030-20503-4_70

14. Gorenkov, A.N. (2016). *Modern simulator and modeling complex in the system of professional training ATC.* Transport Business of Russia, no. 4, pp. 70–73. (in Russian)

15. Ivanov, A.Yu., Pankova, O.V. & Plyasovskikh, A.P. (2014). *Use of artificial intelligence in training systems of flighting management on air firing ground.* Vestnik vozdušno-kosmicheskoy oborony, no. 4 (4), pp. 108–112. (in Russian)

16. Pavlechko, M.A., Timochko, I., Stepanov, G.S. & Chernov, V.A. (2014). [*Principles of building advanced simulator systems for training ACS operators with dynamic objects*] Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii v sfere bezopasnosti i oborony, no. 1 (19), pp. 112–117. (in Russian)

17. Borsoev, V.A., Lebedev, G.N., Malygin, V.B., Nechaev, E.E., Nikulin, A.O. & Tin Phon Chzho. (2018). [*Decision-making in air traffic control tasks. Methods and algorithms*], in Nechaev E.E. (Ed.). Moscow: Radio-tekhnika, 432 p. (in Russian)

18. Konovalov, A.E. & Yurkin, Yu.A. (2013). *Advanced ATC support tools.* Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 198, pp. 118–123. (in Russian)

19. Konikova, E.V. (2007). *Sistem of support of decision-making at an operative management the surface providing of air transportation.* Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 118, pp. 147–152. (in Russian)

20. Strukova, A.V. (2018). *Ensuring the implementation of the modernized structure and automation of air traffic control processes in the area of responsibility of the Moscow district of air traffic control.* Informatsionno-tekhnologicheskiiy vestnik, no. 3 (17), pp. 46–54. (in Russian)

Сведения об авторе

Мацкевич Анна Михайловна, магистр образования, аспирант, заведующая кафедрой языковой подготовки факультета гражданской авиации УО «Белорусская государственная академия авиации», krukovich.am@gmail.com.

Information about the author

Anna M. Matskevich, Master's Degree, Postgraduate Student, Head of the Language Training Chair of the Civil Aviation Department, Belarusian State Academy of Aviation, krukovich.am@gmail.com.

Поступила в редакцию 04.01.2022
Принята в печать 22.09.2022

Received 04.01.2022
Accepted for publication 22.09.2022