

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

А.О. Котова (Москва)

Модернизация структуры воздушного пространства (ВП) и системы организации воздушного движения (ОрВД), связанная с изменением потребностей воздушного движения, порождает необходимость предварительного исследования характеристик и оценки рисков безопасности полетов с последующим управлением ими [1]. Анализ угрожающих факторов и оценка связанных с ними рисков могут быть выполнены различными способами, как то: аналитическое моделирование процессов ОрВД, экспертные оценки, имитационное моделирование [2]. В данной работе оценка показателей безопасности проводится с помощью имитационного моделирования. Во ФГУП «ГосНИИАС» в этих целях была разработана имитационная математическая модель оценки безопасности полетов (ИММ ОБП) [3].

Центральной частью модели оценки безопасности полетов является подмодель диспетчерского управления (МДУ), в которой подробно имитируется работа человека-оператора в системе ОрВД – диспетчера управления воздушным движением (УВД). Оценка показателей безопасности полетов предполагает учет особенностей не только деятельности человека – оператора (задержки, ошибки), но работы технических систем (погрешности, отказы, задержки). Так, ИММ ОБП включает в себя также модели систем связи («земля–воздух», «воздух–земля» и между диспетчерами), наблюдения, навигации, автоматизированной системы управления воздушным движением (АС УВД), модель воздушной обстановки, имитатор течения времени, а также модули расчета показателей и отображения воздушной обстановки (рис. 1).

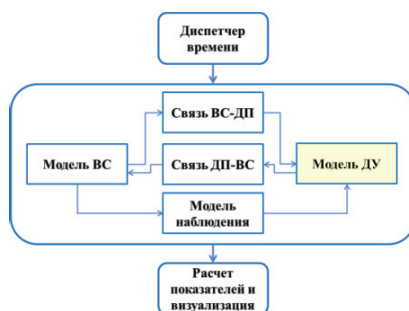


Рисунок 1. Схема ИММ ОБП

Особенности задачи

Особенности моделирования человека-оператора в сложной социотехнической системе основаны на том, что человек действует в контуре обработки информации, который включает в себя: сенсорную обработку внешних для человека сигналов, восприятие, выбор ответа (реакции), т.е. принятие решения, исполнение реакции, влияние реакции человека на окружение, обратную связь этого влияния на человека [4]. Модель диспетчера имитирует управление ВД в штатном режиме работы, включающее в себя наблюдение, анализ воздушной обстановки, принятие решений, которые затем выполняются экипажами ВС (рисунок 2).

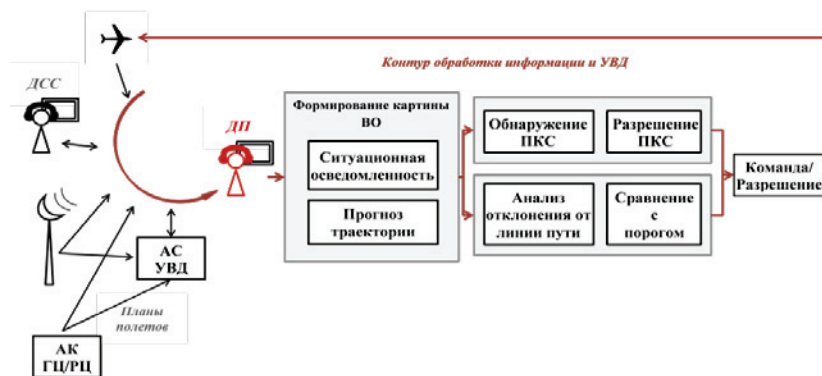


Рис. 2. Контур обработки информации и УВД

Схема алгоритма работы модуля ДП

Модель диспетчерского управления содержит в себе две подмодели: диспетчерская позиция исследуемого сектора (ДП) и диспетчерские позиции смежных с исследуемым секторов (ДСС). Работа диспетчера имитируется как последовательное выполнение операций по сопровождению им находящихся в секторе воздушных судов (ВС) с учетом их приоритетности. Высший приоритет имеет операция разрешения потенциально конфликтных ситуаций (ПКС). При отсутствии ПКС выполняются операции, инициированные ВС (сопровождение при пролете рубежа входа в сектор или пунктов обязательных донесений, сопровождение при изменении или достижении эшелона при пролете ВС по трассе). Наименьший приоритет имеют операции, инициированные диспетчерами соседних секторов (согласование условий входа или выхода из сектора).

Модель ДП вызывается в программном средстве с заданным шагом и имитирует выполнение всех штатных операций по сопровождению пролета ВС через сектор (рис. 3): согласование условий входа ВС в сектор; прием ВС на сопровождение при пролете рубежа УВД; сопровождение пролета пункта обязательного донесения (ПОД); сопровождение при смене эшелона; сопровождение при достижении эшелона; согласование условий выхода ВС из сектора; передача ВС на сопровождение диспетчеру смежного сектора; периодический регулярный анализ воздушной обстановки, включающий в себя прогноз траектории (обновление информации о плане полета ВС, поддержание актуальности данных) и выявление и разрешение потенциально конфликтных ситуаций (ПКС).

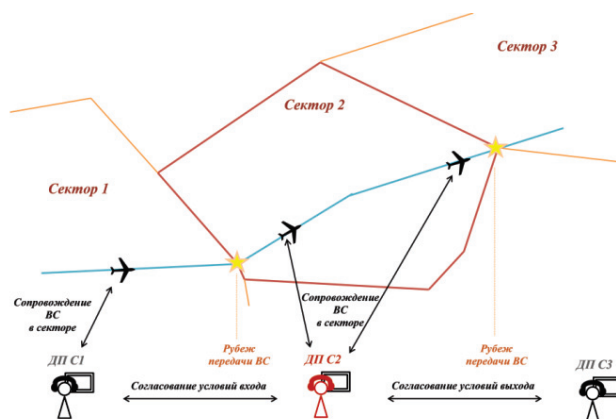


Рис. 3. Диаграмма взаимодействия диспетчеров: ДП и ДСС

Каждая из операций имеет свою длительность – время, которое диспетчер затрачивает на ее выполнение. Время, затраченное диспетчером на выполнение всех операций, определяет загруженность ДП – один из ключевых факторов в исследованиях в области безопасности ВД.

Моделирование обеспечения бесконфликтного потока ВД в секторе РЦ. Диспетчерское обслуживание – это обслуживание (управление), предоставляемое в целях предотвращения столкновений между воздушными судами и столкновений воздушных судов с препятствиями на площади маневрирования, а также в целях регулирования воздушного движения [5].

МДУ имитирует действия, выполняемые диспетчером в штатном режиме работы: анализ воздушной обстановки, выявление потенциально конфликтных ситуаций, выработка решений по разрешению ПКС и подача команд экипажам ВС (рис. 4). Для обеспечения безопасности движения в рамках сектора диспетчеру необходимо постоянно владеть актуальной информацией о состоянии воздушных судов, находящихся у него на сопровождении. ДП получает информацию из донесений экипажей ВС и сообщений ДСС, а также из данных системы наблюдения и АС УВД. На основе полученной информации формируется картина воздушной обстановки, или ситуационная осведомленность ДП о ВД: местоположение каждого ВС, высота и режим полета (набор высоты, крейсерский полет, снижение перед посадкой на аэродром), характер текущего полета (горизонтальный полет, набор высоты, снижение), высота, на которую направляется ВС при негоризонтальном полете, параметры пролета следующего ПОД (время, эшелон). Данные ситуационной осведомленности ДП о ВД, в свою очередь, являются основой для прогноза траектории движения ВС – формирования будущей картины ВО на определенную глубину времени (горизонт регулирования), которая анализируется на предмет потенциальных конфликтных ситуаций.

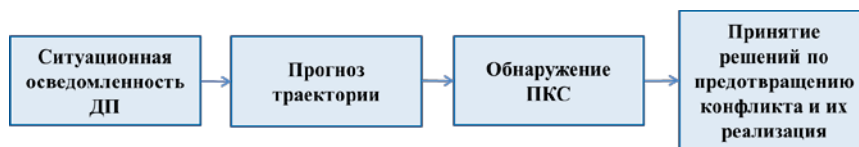


Рис. 4. Общий алгоритм анализа ВО в имитаторе диспетчера

В соответствии с принятой в мире идеологией моделирования [6] выделяются 3 группы ПКС: пересечение, догон и встречный курс. В каждой из групп возможны три варианта полета ВС: оба ВС двигаются на одном эшелоне; одно ВС меняет эшелон, второе – в горизонтальном полете; оба ВС меняют эшелон (итого девять типов) (рис. 5).

	На одном эшелоне	Один изменяет эшелон	Оба изменяют эшелоны
Пересечение	C1	C2	C3
Догон	C4	C5	C6
Встречный курс	C7	C8	C9

Рис. 5. Типы ПКС

Для разрешения ПКС моделируются две меры регулирования (рис. 6): регулирование изменением или запретом смены эшелона полета и регулирование скоростью.

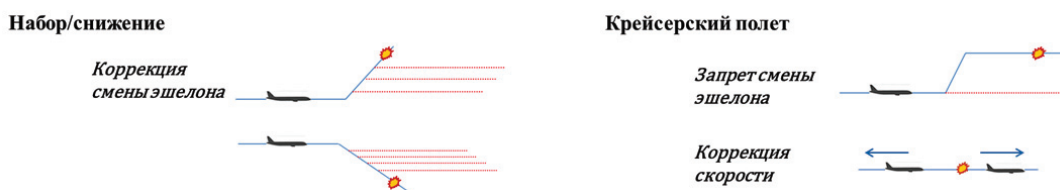


Рис. 6. Меры разрешения ПКС

Методика разрешения различных типов конфликтов предусматривает свои правила применения этих мер или их комбинаций (около 10–20 вариантов для каждого типа ПКС), которые соответствуют технологии работы диспетчера УВД.

Сформировав команду по предотвращению ПКС, диспетчер подает ее на борт экипажу ВС, который, в свою очередь, подтверждает получение этой команды и приступает к ее выполнению. После этого перестраивается план полета ВС в МДУ и модели ВС. Если же ПКС обнаруживается на этапе согласования входа ВС в сектор и еще не пройден рубеж передачи УВД, т.е. ВС еще не находится на сопровождении ДП, команда не может быть отправлена непосредственно на борт. Тогда ДП сообщает ДСС о прогнозируемом конфликте и «рекомендует» отправить на борт команду с измененными условиями входа в сектор.

Моделирование работы диспетчера в условиях реализации факторов опасности. Отдельный интерес для исследователя вызывает работа модели диспетчера в условиях реализации факторов опасности, влияющих на обеспечение бесконфликтного пролета ВС через сектор. В ПС ИММ ОБП моделируется две группы таких факторов: ошибки человека-оператора (диспетчера и экипажей ВС: ошибки при принятии решений, задержки в реакции на события) и погрешности/отказы технических систем (наблюдения, навигации, связи и АС УВД).

Ошибки диспетчера при принятии решений связаны с процессом обнаружения и разрешения ПКС. В этом случае диспетчер «не замечает» ПКС, что чревато реальными конфликтами (вплоть до столкновений ВС). В реальности такая ситуация может возникнуть в связи с перегрузками в работе, например, при слишком интенсивном потоке ВД, когда диспетчер не успевает обработать все сообщения (рис. 7). В ПС имеется возможность моделирования такого рода ошибок, как для заданных операций, так и для заданных типов ПКС.

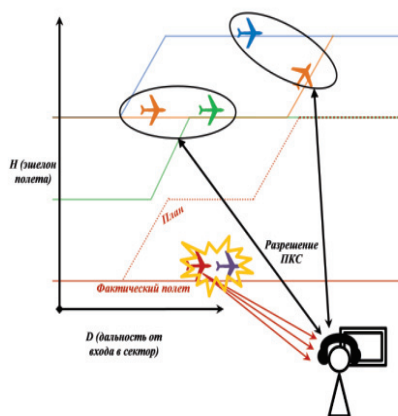


Рис. 7. Пропуск диспетчером ПКС

В случае отказа аппаратуры АС УВД диспетчер лишается одного из источников информации о текущем состоянии ВС, что увеличивает вероятность ошибки при формировании управляющих команд.

В случае отказа системы наблюдений всю информацию о текущем положении и высоте ВС ДП получает из докладов ВС. Используя данные последних докладов, поступающие доклады от экипажей ВС, а также треки по плану, диспетчер строит и прогноз траектории полета. В этом случае для компенсации неточности формирования прогнозируемых планов полетов нормы эшелонирования при анализе ВП на предмет ПКС увеличиваются в 1,5 раза.

В случае отказа линии связи ВС–ДП диспетчер не получает докладов от экипажей ВС, соответственно, вся информация поступает из системы наблюдения и планов полета. Отказ линии связи ДП-ВС означает полное прекращение управления ДП потоком ВД.

Оценка безопасности полётов в перспективной структуре воздушного пространства Московской зоны. С помощью разработанной модели было проведено исследование варианта перспективной структуры ВП Московской зоны [7], направленное на анализ загруженности ДП. Исследование проводилось для следующих секторов для исходной и удвоенной интенсивности ВД: Воронеж 1, Воронеж 2, Горький 2, Горький 5, Запад 1, Запад 2, Запад 3, Киев 1, Киев 2, Ленинград 1, Транзит, Харьков 1. В качестве действующего варианта использовалась структура секторов ВП и маршрутов ОВД, действовавшая на выбранную дату моделирования.

Показатель временной загруженности диспетчера определяется отношением времени его занятости к общему рабочему времени и не должен превышать предельно допустимого значения временной загруженности 0,7. В результате моделирования были выявлены несколько секторов, временная загруженность ДП в которых превышает максимально допустимую (табл. 1). С учетом допущения, что превышение порога загрузки ДП менее чем на 1% является незначительным, недопустимые риски с точки зрения загруженности ДП наблюдаются только в секторе Воронеж-1 (рис. 8).

Таблица 1

Секторы с превышением допустимой временной загруженности значения 0,7

Сектор	Процент времени, в течение которого регистрировалось превышение, %	
	Исходная интенсивность	Удвоенная интенсивность
Воронеж 1	3,76	15,36
Воронеж 2	0,01	0,15
Горький 5	0,01	0,08
Запад 1	0,01	0,02
Запад 2	0,01	0,03
Запад 3	0,01	0,03
Киев 2	0,01	0,02
Харьков 1	0,01	0,08

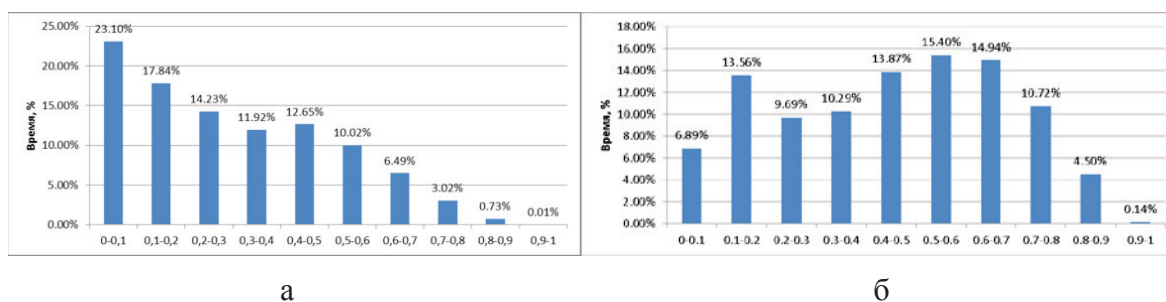


Рис. 8. Временная загруженность сектора Воронеж-1 для исходной (а) и удвоенной (б) интенсивности ВД

Для определения максимального потока ВД в секторе Воронеж-1 было проведено моделирование и последующий расчет загрузки ДП со сниженными коэффициентами интенсивности ВД. В результате было получено допустимое значение интенсивности, при котором не возникает перегрузок ДП, для этого сектора, равное 0,9 (рис. 9).

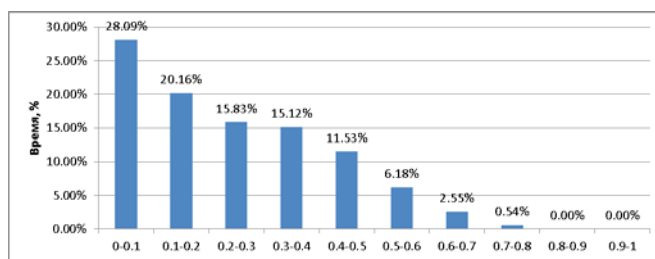


Рис. 9. Временная загруженность сектора Воронеж-1 для интенсивности ВД 0,9 от исходной

Выводы

1. Реализована математическая модель для исследования характеристик безопасности полетов, в которой подробно представлен процесс работы диспетчера УВД, выполняющего регулирование воздушного движения в рамках сектора районного центра.

2. В штатном режиме работы – без перегрузок, при наличии всех источников информации – диспетчер обеспечивает бесконфликтный поток воздушного движения. При реализации факторов опасности диспетчер может не справиться со своими задачами, что может привести к авиационным происшествиям.

3. В исследуемом варианте структуры ВП Московской зоны был обнаружен сектор с перегрузкой Воронеж - 1. Для него была определена максимально допустимая интенсивность потока ВД, не приводящая к перегрузкам, равная 0.9 от исходной.

Литература

1. Руководство по управлению безопасностью полетов. Doc 9859 AN/474. Safety Management Manual (SMM) Изд. 2-е. ICAO, 2009 г.
2. **Дегтярев О.В., Зубкова И.Ф.** Методы и особенности математического моделирования систем организации воздушного движения // Теория и системы управления (ТИСУ). 2012. №4.
3. Разработка программного средства «Имитационная математическая модель оценки безопасности полетов» в составе исследовательского комплекса КИМ ОрВД. Отчет о НИР. Отв. исполнитель: И.Ф.Зубкова, НИИ САП ИА и АЕН, 2012.
4. H.A.P. BLOM, J. DAAMS, H.V. NIJHUIS. Human cognition modelling in ATM safety assessment/ 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar Napoli, 13-16 June 2000.
5. ФАП ИВП ред.2012 г. (в ред. Постановлений Правительства РФ от 05.09.2011 N 743 (ред. 27.09.2011), от 19.07.2012 N 7).
6. Fast Time Simulation. To assess the Impact of DATA LINK on Sector Capacity. EUROCONTROL Headquarters, Brussels, 19 November 1999.
7. Результаты исследований по оценке безопасности полетов в границах ответственности Московского РДЦ. Отчёт о НИР. Отв. исполнители: В.Ю.Сикачев, Ю.В.Обухов, НИИ САП ИА и АЕН, 2017.