

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА В ЗОНЕ А/П РИГА НА БАЗЕ GPSS WORLD

А. А. Артамонов, И. В. Яцкив (Рига)

Проблема безопасности в авиации будет присутствовать всегда, несмотря на то, что уже сейчас это наименее аварийный вид транспорта. Оценка безопасности и меры по ее увеличению должны проводиться регулярно и целенаправленно, несмотря на показатели интенсивности. Задача обеспечения безопасности решалась бы просто и однозначно, если бы процессы были детерминированными. На самом деле, как на весь процесс в целом, так и на ВС в частности оказывают воздействие множество случайных факторов, таких как метеорологические условия, аэронавигационные сборы, задержки ВС, географический фактор, политические моменты.

Системе управления воздушным движением (УВД) присущи следующие особенности:

- сложность, обусловленная наличием большого числа ВС, находящихся на управлении, технических, технологических, процедурных элементов и свойств;
- динамичность;
- большое число альтернатив управляющих воздействий;
- стохастический характер воздействия диспетчера.

Стохастический характер воздействия на систему управления внешней среды предопределяет необходимость тщательного анализа прошлых состояний системы.

Информационные потоки играют важную роль в системе УВД. Анализируя их можно еще на этапе планирования устранять несбалансированность. Система ATTRACC, имеющая достаточно полный набор функциональных возможностей для обеспечения безопасности только констатирует конфликтные ситуации, не выдавая при этом конкретных рекомендаций для их решения. Используя же модель, можно выявить любые неблагоприятные тенденции и анализировать вносимые в систему УВД изменения до их введения и систематического использования. Изменяя один или несколько параметров на модели можно исследовать степень их влияния на процесс в целом.

Наиболее эффективным методом анализа сложной системы УВД, позволяющим учитывать всё многообразие факторов, влияющих на неё при различных технических средствах, является статистическое моделирование. В работе поставлена задача разработки имитационной модели воздушного пространства. В модели должна быть обеспечена имитация поступления потока ВС в воздушное пространство, управление их движением и анализ опасных сближений ВС, произошедших вследствие конфликтных ситуаций на пересекающихся трассах.

Объект моделирования – воздушное пространство (ВП) Латвии. Динамические элементы, требующие обслуживания в модели (транзакты) – воздушные суда (ВС), входящие в ВП.

Исходными данными для модели являются:

- структура воздушного пространства;
- структура и временные характеристики входного потока ВС;
- минимумы эшелонирования (продольного, вертикального и бокового);
- лётно-технические характеристики ВС.

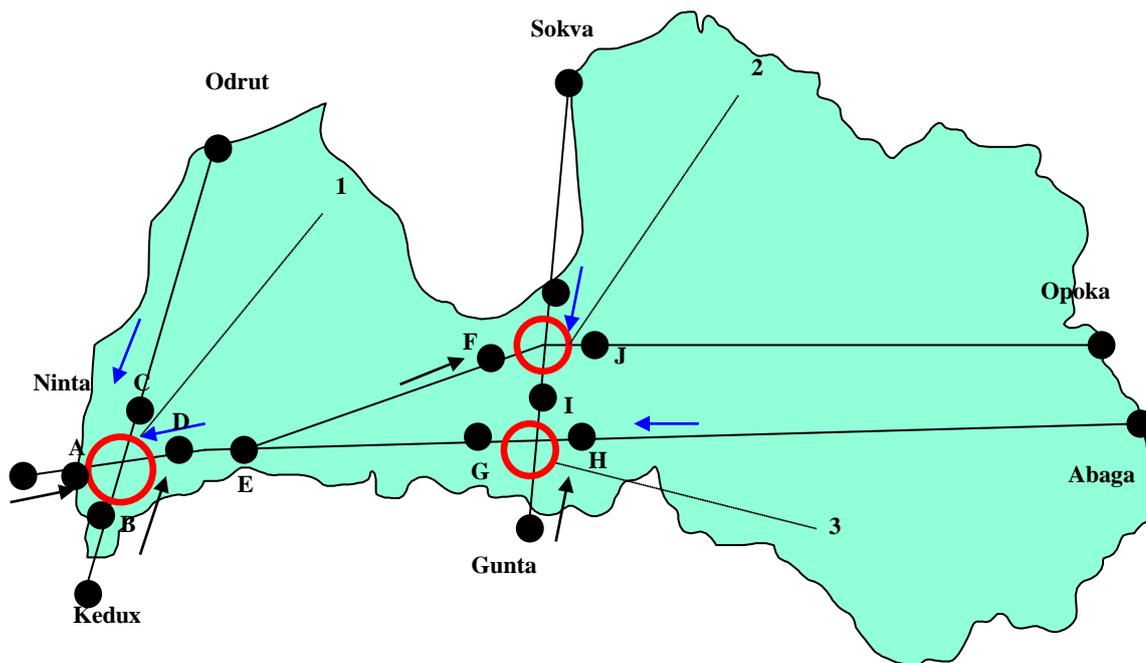


Рис. 1. Структура ВП Латвии

Исходные данные были получены из аэронавигационной системы для сбора и обработки полётной информации «САНС-2». Информационным обеспечением для исследования служат планы полётов и информация в них: исходный пункт, пункт назначения, точки и время входа в зону УВД, точки выхода из соответствующей зоны УВД, тип ВС. Данные хранятся в специализированной базе данных. Для построения модели была использована информация по 6 трассам, 7 дням недели за 2002 год.

Статистический анализ параметров воздушного движения, таких как интенсивность полётов, распределение самолётов по эшелонам и участкам трасс, количество самолётов, одновременно находящихся под управлением показывает, что они не стационарны во времени. На интенсивность полетов влияют время года, день недели, время суток.

Наблюдается тенденция постепенного увеличения числа полетов вплоть до июля, последующей стабилизации и медленного убывания после октября. При анализе распределения полетов по дням недели, отметим, что наименее интенсивным из них является вторник, после чего поток плавно возрастает до максимальных значений, приходящихся на выходные. В целом же зависимость от дня недели выражена значительно слабее, чем от времени года.

На рис. 2 приведено распределение полетов по времени суток, где наибольшая активность приходится на период с 5:00 до 19:00. Пик же интенсивности находится между 10 и 15 часами. На основе анализа сделаем следующие допущения. Входящий поток ВС имеет три участка стационарности: I – (10:00–15:00), II – (5:00–10:00)&(15:00–19:00), III – (19:00–5:00). Будем проводить весь дальнейший анализ статистики за II суточный период, считая, что интенсивность полетов в I период выше в 1,5 раза по отношению ко II, а в третий период – в 1,5 раза ниже.

В результате анализа распределения ВС по типам и в силу необходимости при построении модели ввести некоторые упрощения, было принято решение выделить три основных категории ВС в соответствии со скоростными характеристиками и массой. К

1-ой категории были отнесены ВС с диапазоном скоростей 400–434 узла. Ко 2-ой категории принадлежат ВС – имеющие диапазон скоростей 435–463 узла. Она является

самой многочисленной и полностью соответствует международной классификации. В 3-ей категории, включающей диапазон скоростей 464–495 узлов, все ВС кроме TU154 являются «тяжелыми», что еще раз подтверждает непротиворечивость данной классификации. Сделанное допущение не является критичным, и при необходимости количество исследуемых категорий в модели может быть дополнено и расширено.

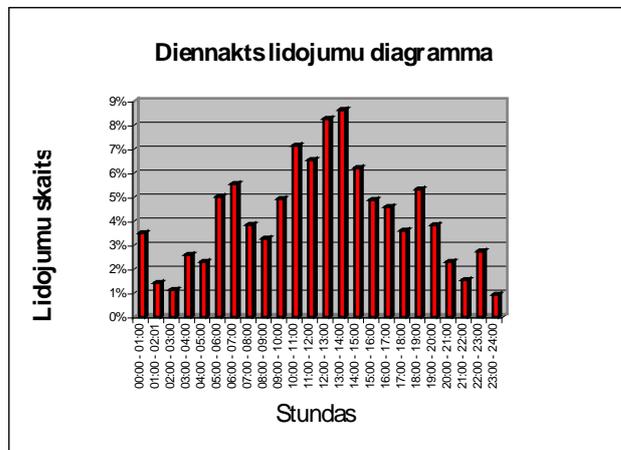


Рис. 2. Распределение частоты полетов по времени суток

Перед последующей статистической обработкой данных, была проверена их однородность. Проверка на однородность производилась в пакете STATISTICA с помощью ранговой статистики Уилкоксона [1]. Как видно из графика анализа однородности для одной из трасс (и это подтверждается данными проверки гипотез) выборки значений интервалов между ВС по данной трассе не однородны для рабочих и выходных дней. Это привело к тому, что генераторы интервалов времени между ВС для трассы N-O в модели одинаковы для рабочих дней и отличны от них для выходных.

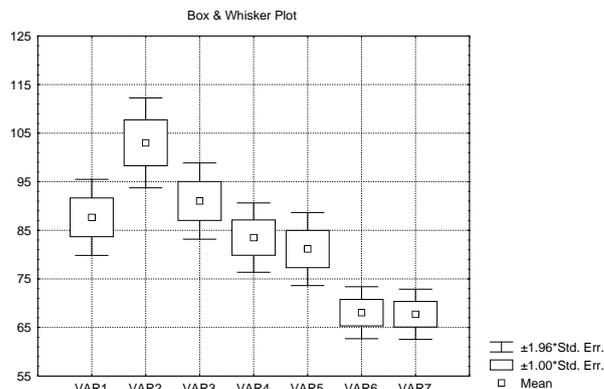


Рис. 3. Графический анализ однородности интервалов между ВС по трассе N-O

Затем были подобраны законы распределения и оценены их параметры для использования в генераторах случайных чисел модели. Для подбора вида закона распределения использовался критерий Колмогорова-Смирнова. Обработка данных производилась в прикладных пакетах MS Excel 2000 и Statistica 5.5. Продемонстрируем результаты процедуры для одной из трасс.

На рис. 4 приведен результат подбора экспоненциального распределения для интервалов между входами ВС в ВП Латвии для трассы А-N. По данной трассе было собрано порядка 5000 данных. Как видно из графика распределение близко к экспоненциальному. Пользуясь результатами анализа, можно говорить о том, что для генерирова-

ния в модели интервалов между ВС по этой трассе можно использовать два генератора: для понедельника, среды, пятницы, субботы и воскресенья – генератор экспоненциального распределения с интенсивностью $\hat{\lambda} = 0,015$; для вторника и четверга – генератор экспоненциального распределения с интенсивностью $\hat{\lambda} = 0,0125$.

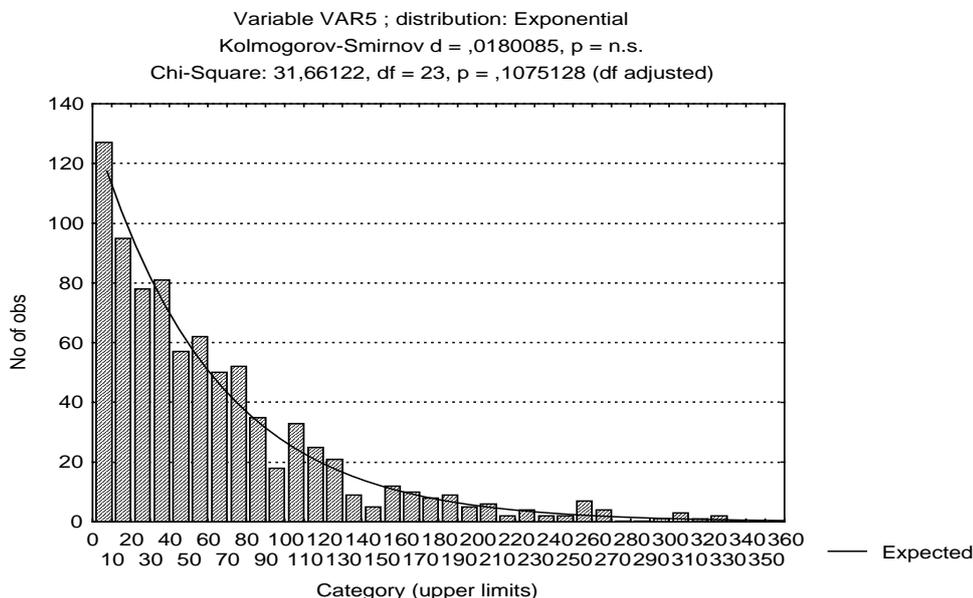


Рис. 4. Результат подбора экспоненциального распределения для трассы А-Н

В качестве устройств, обслуживающих транзакты, выступают трассы. В модели рассмотрено 6 трасс. Время обслуживания ВС, т. е. время пролета трасс является второй случайной составляющей модели. Так как данные о времени покидания ВС зоны УВД не фиксируется в настоящее время, то не представлялось возможным в рамках данной работы исследовать время пребывания на трассе ВС более подробно, а именно оценить закон распределения. Поэтому было выдвинуто предположение – время пролета трасс распределено для каждой категории ВС по равномерному закону в интервалах, соответствующих характеристикам ВС по категориям.

Введем в модель дополнительные допущения. Будем рассматривать ограниченное количество эшелонов полета в каждом направлении в соответствии с крейсерскими эшелонами для каждой категории ВС. Будем рассматривать на двусторонних трассах (G-S, S-G, O-K, K-O) два эшелона в одном направлении и два – в другом; на односторонних трассах (А-Н и N-O) только два эшелона в одном направлении. Общее количество ВС в ВП Латвии не может превышать 50 (обусловлено местными правилами). В случае если количество ВС достигло критического значения, ВС не допускаются в ВП.

Целью исследований на имитационной модели явилась оценка вероятности конфликтных ситуаций. Опишем, что будет пониматься под конфликтом. Каждое пересечение трасс характеризуется углами, образованными при этом пресечении. На основе углов пересечений, и принимая во внимание то, что расстояние между ВС при горизонтальном эшелонировании не должно быть меньше 5 миль для каждого эшелона полёта по теореме косинусов были определены безопасные расстояния до точки пересечения. На каждой трассе были определены интервалы, пребывание в которых более одного ВС влечет за собой конфликтную ситуацию. Далее, для определения опасных сближений был разработан специальный алгоритм обнаружения попадания самолёта в конфликтную зону. Для этого рекомендовано разделить трассу на каждом эшелоне на зоны, каждая из которых закрепляется за соответствующим обслуживающим устройством. При-

нято, что зоны бывают двух типов: бесконфликтная; зона конфликтов, которая в свою очередь делится на прилегающую и непосредственно зону конфликтов. Зона конфликтов будет моделироваться несколькими приборами, один из которых является общим для трассы, с которой возможен конфликт. Время прохождения каждого ее участка зависит от длины участка и скорости.

Модель состоит из 554 блоков GPSS, использовано 22 устройства.

Была проведена валидация модели, по этапам, введенным Naylor и Finger [2]:

- проверка валидности внешнего представления;
- эмпирическое тестирование допущений модели;
- статистические сравнения между выходом реальной системы и модели.

Валидность внешнего представления была проверена путем прогона модели и ответов на вопросы: появились или нет неожиданные события, нет ли резко растущих очередей, корректен ли путь транзакта через систему (используется анимация). Многократные прогоны модели дали удовлетворительные ответы на эти вопросы: резко растущих очередей нет, все эшелоны использовались хоть раз за моделируемый период, пропорции категорий ВС соответствуют реальной статистике и т. д.

Эмпирическое тестирование допущений модели было выполнено при статистическом анализе исходных данных.

Произведена валидация модели по результатам. При каждом прогоне определено общее число транзактов (самолетов), пересекших ВП за год. Проведено n симуляций и построен 95% доверительный интервал для числа пересечений ВП – (52128.72; 52320.28). Реальное число пересечений составило за моделируемый год (2002) – 52 196. Данное значение попадало в доверительный интервал, построенный по результатам моделирования.

Проведен ряд экспериментов с моделью для получения статистики об интенсивности конфликтных ситуаций в точках пересечения воздушных трасс. Получены характеристики, которые позволяют решать проблемы оптимизации развития ВП: среднее время пребывания самолётов в каждом секторе, относительное число конфликтных ситуаций, приходящихся на один самолёт при пролёте сектора, вероятность опасного сближения самолётов и т. д.

С помощью построенной модели можно прогнозировать возможные изменения в ВП, если произойдёт возрастание входных потоков, выявлять наиболее загруженные маршруты, соотносить реальные потоки поступающих ВС с возможностями диспетчеров и т. д. Разработанная модель была только первым этапом, а теперь стоит задача её уточнения, а именно модель рассматривала только ту часть входного потока, которая касалась пролетающих (транзитных) самолётов. Необходимо же рассматривать суммарный входной поток, состоящий из четырёх взаимосвязанных потоков: потока взлетающих самолётов, потока самолётов, следующих на посадку на данный аэродром, потока транзитных самолётов и потока самолётов, после ухода на повторный заход на посадку. Подобная модель ВП может быть рабочим инструментом для руководителей службы движения при предварительном анализе возможных последствий обусловленных изменениями внешних факторов, воздействующих на ВП и при реорганизации самого ВП.

Литература

1. **С.А.Айвазян, В.С.Мхитарян.** Прикладная статистика и основы эконометрики. – М:ЮНИТИ, 1998. – 1022с.
2. **Law Averill.M., Kelton W.D.** Simulation Modelling and Analysis. –McGraw-Hill, 1991. –760 p.