

**СИНТЕЗ РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ  
ПОТОКОВ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЗАДАЧАХ  
УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ****А. В. Кан, В. Н. Минаенко, Е. В. Филенкова (Москва)**

Приведены алгоритмы формирования репрезентативных потоков воздушного движения в регионе, гарантированно включающих наиболее проблемные варианты часовых входных потоков, и в то же время менее объемных, чем полные исходные полетные данные и примеры их использования при решении практических задач, связанных с изменением структуры воздушного пространства исследовательского региона.

Необходимость разработки таких алгоритмов вызвана следующей причиной. Во многих задачах, связанных с управлением потоками воздушного движения (УВД), требуется гарантировать успешные результаты решения при любом потоке, который может быть реализован. Например, алгоритмы выработки мер регулирования потоков ВД или оптимальной секторизации [1, 4] должны обеспечивать успешное решение в любой день выполнения полетов. Для получения гарантированных результатов, как при анализе, так и при синтезе, нужно принимать во внимание все возможные варианты развития ситуации, что, в свою очередь, приводит к неприемлемому увеличению вычислительных затрат. Для их сокращения и были разработаны алгоритмы формирования минимального репрезентативного набора реализаций случайных потоков ВД на основе исходного набора часовых потоков ВД.

Предлагаемые алгоритмы синтеза входных потоков ВД программно реализованы в виде модели формирования репрезентативных потоков ВД в составе средств подготовки исследовательских полетных данных в рамках программного комплекса имитационного моделирования систем ОрВД (КИМ ОрВД). Комплекс [1, 2] разработан в ГосНИИАС по заказу Госкорпорации по ОрВД.

Модель формирования репрезентативных потоков обеспечивает автоматизированное выполнение следующих операций по подготовке, формированию, предварительному анализу и запоминанию (для дальнейшего использования в задачах исследования и синтеза) таких потоков:

- подготовительные операции в части формирования полного набора полетных данных о потоках ВС через ВП района ОрВД в заданный временной период (выбор соответствующих планов полетов из библиотек КИМ ОрВД);
- деление полного набора полетных данных на группы однотипных часовых потоков ВС (с близким распределением потоков по точкам и эшелонам);
- выбор репрезентативных представителей часовых потоков ВС для каждой группы (гарантирующих, что выполнение требований для данных представителей обеспечит выполнение этих же требований для остальных представителей группы);
- формирование репрезентативного набора потоков ВС (представителей характерных групп) – суточных случайных стационарных потоков с заданными статистическими характеристиками;
- запоминание сформированных случайных стационарных потоков в библиотеку суточных планов.

В качестве примера в докладе рассматривается задача формирования репрезентативного потока ВС, соответствующего исходному набору данных о реальных полетах в Санкт-Петербургском районном центре (РЦ) в периоды наиболее интенсивного воздушного движения (в последнюю неделю августа) в 2007 и 2008 годах. В соответствии с разработанной методикой, исходные 336 часовых потоков разделены на 11 характерных групп (при пороге близости потоков 0.5). Сформированы репрезентативные потоки ВС, представляющие каждую из этих групп. Проведена проверка адекватности (близости

сти) сформированных случайных потоков исходным данным (часовым потокам соответствующей группы) по показателям интенсивности воздушного движения и по интервалам между моментами входа в точки воздушного пространства районного центра. Для этого использовались возможности, реализованные в составе модели. Потоки считаются адекватными, если они с высокой вероятностью принадлежат одной и той же генеральной совокупности по указанным показателям. Анализ, выполненный по критерию Вилкоксона [3], показал, что сформированные репрезентативные потоки принадлежат к одной генеральной совокупности с исходными потоками с вероятностью не менее 0.95.

Разработанная методика формирования репрезентативных потоков является достаточно универсальной и может быть использована в части формирования входной информации при решении следующих исследовательских задач:

- прогнозных исследований использования ВП районов ОВД;
- исследований по оценке эффективности изменений трассовой структуры ВП и регулирования потоков ВД (например, ремаршрутизации);
- деление ВП районов ОВД на сектора диспетчерского управления (задача секторизации).

Приведена оценка эффективности использования репрезентативных потоков при проведении секторизации. Цель исследований – показать, что секторизация, проведенная на репрезентативных потоках, удовлетворяет требованиям и для исходного полного набора входных потоков. Исследования выполнены на примере ВП Санкт-Петербург РЦ. Исходным полным набором потоков ВС являются полетные данные за указанные выше две недели августа двух последних лет в период высокой интенсивности ВД в летний сезон в соответствии с разработанной методикой исходные потоки разделены на характерные группы и сформированы репрезентативные потоки ВС, представляющие эти группы. Проведена секторизация ВП Санкт-Петербург РЦ по входной информации о двух суточных репрезентативных потоках, представляющих первые две характерные группы.

Первый поток является представителем первой характерной группы и имеет показатель пуассоновского процесса (МО количества входов ВС в ВП РЦ в час), равный  $\lambda = 25$  ВС. Преобладающими направлениями полетов ВС для этого потока являются Север–Юг и Юг–Север. Второй поток является представителем второй характерной группы и имеет показатель пуассоновского процесса, равный  $\lambda = 15$  ВС. Полеты ВС этого потока проходят в основном в направлении Запад – Восток и Восток – Запад.

Пример исходной и новой структуры секторов Санкт-Петербургского районного центра, получившихся в результате секторизации на репрезентативных потоках, приведен на рис. 1.

Проведен анализ загрузки секторов Санкт-Петербург РЦ, сформированных по информации об указанных репрезентативных потоках ВС, при 14-ти суточных потоках из исходного полного набора полетных данных за две недели августа. Результаты анализа показали выполнение требований к вероятности нарушения допустимого уровня часовой относительной загруженности диспетчеров (доля нарушений не превышает 5%). Это позволяет сделать вывод, что секторизация, проведенная на репрезентативных потоках, является достаточно эффективной и при потоках из полного набора.



Рис. 1

### Выводы

Разработана и предложена методика автоматизированного формирования репрезентативного (представительного) набора часовых входных потоков ВС, предназначенного для использования в качестве исходных данных при решении различных исследовательских задач по проблематике ОрВД. Такой репрезентативный набор должен включать часовые потоки ВС, соответствующие всем характерным и напряженным условиям выполнения полетов, из числа полного набора исходных полетных данных. Выполнение требований по использованию ВП для этого набора часовых потоков должно гарантировать (с определенной вероятностью) также и выполнение требований для любого часа полных исходных данных. Проведенное на основе такого репрезентативного потока ВС решение задачи синтеза ВП системы ОрВД обеспечивает гарантированное выполнение требований при всех возможных потоках ВС. В то же время репрезентативный поток ВС имеет гораздо меньшую размерность по сравнению с полными исходными полетными данными.

В работе предложен методический подход к формированию таких исследовательских входных потоков ВС, а также разработано математическое обеспечение для осуществления полного цикла их формирования на основе реальных плановых или фактических полетных данных. Разработанные методика и алгоритмы являются достаточно универсальными и обеспечивают формирование наиболее напряженных, с точки зрения использования отдельных частей ВП региона, исследовательских потоков ВС. Что обеспечивает целесообразность их применения в различных исследовательских задачах, проводимых с целью выявления наиболее тяжелых условий работы системы ОрВД и оценки эффективности ее функционирования в этих условиях.

Результатом применения методики является набор суточных стационарных входных потоков ВС, в каждый час которых для каждого потока реализуется одна из возможных напряженных ситуаций с точки зрения использования ВП. Полный набор этих исследовательских суточных потоков может быть назван репрезентативным потоком, поскольку содержит в своем составе все наиболее неблагоприятные реализации часовых входных потоков ВС.

Реализация предлагаемой методики в рамках КИМ ОрВД позволила провести цикл исследований, подтвердивших высокую эффективность применения сформиро-

---

ванных репрезентативных потоков ВС при решении практических задач анализа и синтеза потоков ВД и изменения структуры ВП.

#### Литература

1. **Дегтярев О. В., Егорова В. П., Зубкова И. Ф., Кан А. В.** Комплекс имитационного моделирования УВД. // Труды НТК «Авиационные системы в XXI веке», М.: ГосНИИАС. Т. 2, 2006.
2. **Вишнякова Л. В., Дегтярев О. В. Егорова В. П., Кан А. В.** Комплекс имитационного моделирования системы ОрВД РФ. // Российско-европейский семинар «Концепции и технологии ОрВД». Труды. М.: ЦАГИ. 2007.
3. **Ван Дер Варден Б. Л.** Математическая статистика. М.: Иностранная литература, 1960.
4. **Орехов М. О., Минаенко В. Н.** Интеллектуальная система поддержки принятия решений при секторизации воздушного пространства района управления воздушным движением с использованием имитационного моделирования. Восьмой международный симпозиум «Интеллектуальные системы». Труды. М.: НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2008.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 08-08-00370-а)