



задача, обеспечивающая безопасность полетов авиации [1].

Постановка задачи АКС состоит в следующем. Имеется область воздушного пространства, которое содержит воздушную трассу (ВТ) гражданской авиации и установленный маршрут (М) для полетов ведомственной авиации. Иллюстрация такой ситуации приведена на рис.1. Ось трассы и маршрут пересекаются в точке В. Если самолет, следующий по воздушной трассе, обозначим его  $E_{VT}$ , окажется в районе точки В одновременно с появлением в этом районе самолета, следующего по маршруту, обозначим его  $E_M$ , то возможно наступление события, называемого опасным сближением.

Задача алгоритма АКС состоит в том, чтобы из всего множества самолетов, следующих по воздушной трассе и по маршруту, во-первых определить пары самолетов  $\langle E_{VT}, E_M \rangle$ , которые приходят в район точки В одновременно, во-вторых, определить маневр самолета  $E_M$  для устранения опасного сближения. Для уменьшения размерности задачи предположим, что маневрирует самолет  $E_M$  и только изменением скорости полета.

Для решения поставленной задачи необходимо построить модель воздушной обстановки, которая позволит разработать алгоритм выявления конфликтных пар  $\langle E_{VT}, E_M \rangle$ .

Вспользуемся методикой построения модели воздушной обстановки, изложенной в работах [2,3].

В основе методики построения модели воздушной обстановки лежат сущности  $e$ , наборы сущностей  $E$ , связи  $S$ , наборы связей  $S$ . В случае, если сущность  $e$  обладает совокупностью существенных свойств  $P$ , то под набором объектов обстановки понимается множество  $E = \{e/P(e)\}$ , такое, что каждый элемент  $e \in E$  обладает совокупностью свойств  $P$ , принимающих значения на множествах  $D_1, D_2, \dots, D_n$ . Под атрибутом  $F_E$  набора объектов  $E$  будем понимать отображение:

$$F_E: E \rightarrow D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n,$$

ставящее каждому  $e$  из  $E$  в соответствие кортеж значений множеств:

$$\langle d_1, d_2, \dots, d_n \rangle \in D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n.$$

Кортеж  $\langle e_1, e_2, \dots, e_R \rangle$  назовем связью  $S$ . Под набором связей  $S$  будем понимать множество связей:

$$S = \{ \langle e_1, e_2, \dots, e_R \rangle_s / e_i \in E_i, i=1, \dots, R \}.$$

Атрибутом набора связей  $S$  называется отображение:

$$F_S: S \rightarrow D_1 \times D_2 \times \dots \times D_m,$$

ставящее каждой связи  $S$  из  $S$  в соответствие кортеж значений множеств

$$\langle d_1, d_2, \dots, d_m \rangle \in D_1 \times D_2 \times \dots \times D_m.$$

Определив основные понятия, можно определить, что в состав модели воздушной обстановки входят следующие наборы объектов:

набор объектов САМОЛЕТЫ ВОЗДУШНОЙ ТРАССЫ ( $E_{VT}$ ) с атрибутами:

$N_{VT}$  - бортовой номер самолета воздушной трассы;

$\vec{X}_{VT}$  - вектор состояния самолета воздушной трассы, где

$$\vec{X}_{VT} = (X_{VT}, Z_{VT}, V_{X_{VT}}, V_{Z_{VT}});$$

набор объектов САМОЛЕТЫ МАРШРУТА ( $E_M$ ) с атрибутами:

$N_M$  - бортовой номер самолета маршрута;

$\vec{X}_M$  - вектор состояния самолета, где

$$\vec{X}_M = (X_M, Z_M, V_{X_M}, V_{Z_M}).$$

Рассматривая декартово произведение

$$E_{VT} \times E_M = \{ \langle e_{VT}, e_M \rangle / e_{VT} \in E_{VT}, e_M \in E_M \},$$

можно определить связь  $\langle e_{VT}, e_M \rangle_s$  типа "конфликт" в случае одновременного выхода объектов  $e_{VT}$  и  $e_M$  в район точки В. При этом каждая связь может характеризоваться:

$\chi$  - минимальное расстояние сближения;

$t_\chi$  - время наступления минимального сближения;

$\Delta V_M$  - изменение скорости самолета  $E_M$ , необходимое для устранения конфликтной ситуации.

На основании вышеизложенного определим набор связей ( $S$ ) КОНФЛИКТНЫЕ ПАРЫ с атрибутами:

$N_{VT}$  - бортовой номер самолета воздушной трассы из  $E_{VT}$ ;

$N_M$  - бортовой номер самолета маршрута из набора объектов  $E_M$ ;

$\chi$  - минимальное сближение самолетов;

$t_\chi$  - время наступления минимального сближения;

$\Delta V_M$  - изменение скорости самолета  $E_M$ , необходимое для устранения конфликтной ситуации.

Необходимо отметить, что  $N_{VT}$  и  $N_M$  играют роль ключевых атрибутов, т.к. обеспечивают

однозначную идентификацию связи  $S_i$  набора связей  $S$ .

Таким образом модель воздушной обстановки имеет вид [2]:

$$M_{BO} = \langle E_{BT}, E_M, S, F_{E_{BT}}, F_{E_M}, F_S \rangle,$$

где  $F_{E_{BT}}: E_{BT} \rightarrow D_{N_{BT}} \times X_{BT}$ ;

$$F_E: E \rightarrow D_{N_M} \times X_M;$$

$$F_S: S \rightarrow D_{N_{BT}} \times D_{N_M} \times D_c \times D_{t_\chi} \times D_{\Delta V_M},$$

где  $D_{N_{BT}}, D_{N_M}$  - множества значений бортовых номеров самолетов  $e_{BT}$  и  $e_M$ ;

$\vec{X}_{BT}$  и  $\vec{X}_M$  - векторы состояний самолетов  $e_{BT}$  и  $e_M$ ;

$D_\chi, D_{t_\chi}, D_{\Delta V_M}$  - множества значений параметров  $\chi, t_\chi, \Delta V_M$ .

С целью наглядности представим модель воздушной обстановки в виде структурной диаграммы, представляющей собой граф [3]:

$$\sigma_{MBO} = \langle E_{BT}, E_M, S, L, L \rightarrow E_{BT} \times E_M \times S \rangle,$$

вершинами которого являются наборы объектов и связей, а ребра  $l \in L$  связывают вершины типа  $S$  с соответствующими вершинами типа  $E_{BT}$  и  $E_M$

Структурная диаграмма модели воздушной обстановки представлена на рис.2.

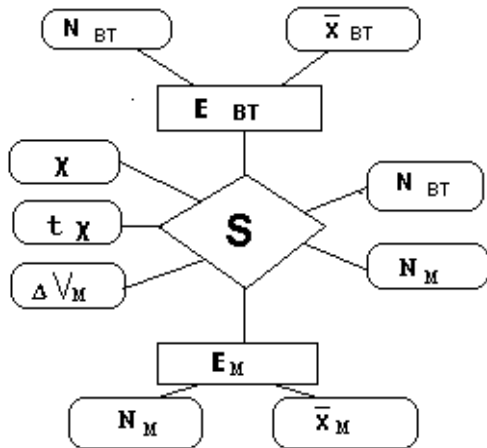


Рис.2. Структурная диаграмма модели воздушной обстановки для задачи АКС.

Параметры  $\chi, t_\chi, \Delta V_M$  набора связей  $S$  должны вычисляться на основе известных значений векторов состояний  $\vec{X}_{BT}$  и  $\vec{X}_M$ .

Методы определения значений этих параметров подробно изложены в работах [2,3].

Факт наличия конфликтной ситуации может быть установлен определением значения истинности условия:

$$\Phi: (\chi < a) \wedge (t_\chi < T),$$

где  $a$  - допустимое сближение самолетов, не приводящее к столкновению;

$T$  - допустимое время до наступления минимального сближения.

Формально операцию отбора конфликтных пар из произведения наборов объектов  $E_{BT} \times E_M$  можно определить такой операцией реляционной алгебры как селекция. Полный состав основных и дополнительных операций реляционной алгебры представлен в работах [3,4].

Операция селекции  $\sigma_\Phi(E_{BT} \times E_M)$  позволяет отобрать из произведения наборов объектов  $E_{BT} \times E_M$  те кортежи, компоненты которых удовлетворяют условию  $\Phi$ .

В нашем случае роль операнда операции селекции выполняет множество кортежей вида:

$$E_{BT} \times E_M = \{ \langle N_{BT}, \vec{X}_{BT}, N_M, \chi, t_\chi, \Delta V_M \rangle \}.$$

С учетом условия истинности  $\Phi$  формальная запись операции селекции в данном случае имеет вид:

$$\sigma_{(\chi < a) \wedge (t_\chi < T)} (E_{BT} \times E_M)$$

Схема алгоритма решения задачи АКС приведена на рис.3 (см. ниже).

Основой для решения задачи являются данные об объектах воздушной обстановки, которые можно представить в виде таблиц  $R_{BT}$  и  $R_M$ . Каждая строка указанных таблиц содержит номер воздушного объекта  $e_{BT}$  или  $e_M$  и значения всех компонентов векторов  $\vec{X}_{BT}(t)$  и  $\vec{X}_M(t)$  на текущий момент времени, когда решается задача АКС.

Алгоритм АКС состоит из следующих основных шагов:

шаг 1. Формирование декартова произведения  $R_{BT} \times R_M$ , где элементами  $R_{BT}$  и  $R_M$  являются их строки;

шаг 2. Расчет параметров  $\chi, t_\chi$  для каждого элемента  $R_{BT} \times R_M$  согласно методике изложенной в работе [2];

шаг 3. Выполнение операции селекции (выборки строк) из декартова произведения  $R_{BT} \times R_M$  удовлетворяющих условию  $\Phi$ .



векторах состояния объектов наборов  $E_{BT}$  и  $E_M$  приведены на рис.4 в таблицах а), б). В таблице в) приведены результаты расчетов параметров  $\chi$ ,  $t_\chi$  для каждой пары  $\langle e_{BT}, e_M \rangle$ .

Над строками таблицы в) выполняется операция селекции по логическому условию

$$\Phi: (\chi < a) \wedge (t_\chi < T),$$

где  $a=20\text{км}$ ,  $T=500\text{с}$ .

В результате работы алгоритма АКС выбран воздушный объект  $m_1$ , который находится в конфликте с объектами  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ , с указанием времени наступления конфликта.

Рассмотренная в статье концепция формального представления алгоритма АКС обеспечивает необходимую полноту представления реальной обстановки в управляемой сложной системе на языке,

используя простые понятия теории множеств, алгебры отношений и реляционной алгебры. Предлагаемый подход может быть использован для описания функционирования сложных систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация процессов управления воздушным движением. Под ред. Г.А.Крыжановского.- М:Транспорт, 1991г.
2. Тарасов В.Г. Основы теории автоматизированных систем управления.- М:ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1988г.
3. Ульман Дж. Основы систем баз данных.- М.: "Финансы и статистика", 1983г.
4. Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели данных. - М. : "Финансы и статистика", 1985г.