

УДК 004/02

С.И. Иванов Л.Б. Цюрак, А.В. Давиденко

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ И ДАННЫХ О ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТАХ-НАРУШИТЕЛЯХ ПРАВИЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

*Рассматриваются методы и модели представления знаний и данных о воздушных объектах, которые являются нарушителями правил использования воздушного пространства Украины. Метод и модель представления знаний базируются на вербальных описаниях и ситуаций действий воздушных судов в границах воздушного пространства Украины и заданных соответствующими директивными документами, а априорные данные, необходимые для описания названных ситуаций, представляется в виде реляционной (табличной) базы данных. Предлагаются правила вывода классов ситуаций действий воздушных объектов и типов их нарушений на базе в подсистемах поддержки принятия решений в АСУ ПС Украины.*

**Ключевые слова:** данные, знания, модель представления данных, представление знаний, производное правило вывода.

### Введение

Важной проблемой для любого государства является проблема контроля воздушного пространства. Для ее решения из состава Вооруженных Сил государства выделяются дежурные средства [1, 2], объединяющиеся в специальные системы контроля воздушного пространства, которые включают дежурные средства разведки, средства управления воздушным движением и огневые средства ПВО.

В соответствии с действующими международными и внутригосударственными законодательными документами воздушные объекты, нарушающие правила использования воздушного пространства могут классифицироваться как суда, представляющие угрозу пересечения государственной границы (УШГ), объекты, пересекающие государственную границу (ПГ), объекты, совершающие нарушение режима полетов (НРП), объекты, в отношении которых совершается угон за пределы государственной границы (УВС) и объекты, на которых возникла форс-мажорная ситуация (ФМС) (рис. 1) [3]. Выявление перечисленных классов воздушных объектов на КП дежурных сил осуществляется

обычно глазомерно лицами боевых расчетов названных КП.

**Целью настоящей статьи** является разработка подходов к классификации ситуаций действий воздушных объектов и выявления типов нарушений, со стороны этих объектов, правил использования воздушного пространства путем разработки методов представления данных и знаний.

### 1. Представление знаний

Известно, что лица боевых расчетов КП определяют воздушные суда-нарушители таким образом:

- если воздушный объект движется согласно заявке на полет с соблюдением установленных порядка и правил использования воздушного пространства, то данная ситуация характеризуется как штатная (ШС);
- если воздушный объект движется без заявки (вне расписания) на полет и нарушает установленный порядок (правил) использования воздушного пространства, то данная ситуация характеризуется как не штатная (НШС). Если воздушный объект другого государства движется согласно описанию НШС, и его текущие координаты принадлежат зоне

разведки  $Z$ , а экстраполированные координаты принадлежат зоне перед государственной границей  $Z$ , то данная ситуация характеризуется как угроза пересечения государственной границы (УПГГ);

- если воздушный объект другого государства движется согласно описанию НШС и его текущие координаты принадлежат зоне  $Z_{ПГГ}$ , а экстраполированные координаты принадлежат зоне территории объединения ПС, то данная ситуация характеризуется как пересечение государственной границы (ПГГ);

- если воздушный объект другого государства движется извне в направлении государственной границы или в границах зоны коридоров движения судов ( $Z_{кор}$ ) и на борту его имеет место форс-мажорная ситуация, то данная ситуация характеризуется как форс-мажорная (ФМС);

- если воздушный объект движется по расписанию или заявке на полет, но с нарушением порядка (правил) использования воздушного пространства, то данная ситуация характеризуется как нарушение режима полетов (НРП);

Если есть информация об угоне воздушного объекта или он движется в направлении государственной границы, не выполняет команд и его

пространственные координаты принадлежат зоне  $Z_{тер}$ , то данная ситуация характеризуется как угон воздушного судна (УВС).

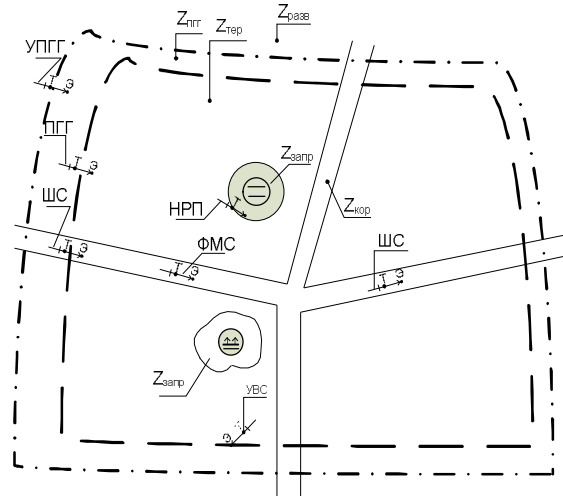


Рис. 1. Пространственное представление зоны ответственности ПВО

Приведенные описания достаточно просто могут быть представленные в виде логико-лингвистических описаний (ЛЛО):

$$\text{ЛЛО1: } (\overline{K_j^T} = \overline{K_j^{пл}}) \wedge (\overline{П_j^T} = \overline{П_j^{пл}}) \wedge (\text{ПрФМС}_j = 0) \Rightarrow \text{ВО}_j := \text{ШС}_j;$$

$$\text{ЛЛО2: } (\overline{K_j^T} = \overline{K_j^{пл}}) \wedge (\overline{П_j^T} = \overline{П_j^{пл}}) \wedge (\text{ПрФМС}_j = 1) \Rightarrow \text{ВО}_j := \text{НШС}_j;$$

$$\text{ЛЛО3: } (\text{ВО}_j = \text{НШС}_j) \wedge (\{X_j^T, Y_j^T\} \in Z_{разв}) \wedge (\{X_j^3, Y_j^3\} \in Z_{ПГГ}) \Rightarrow \text{ВО}_j := \text{УПГГ}_j;$$

$$\text{ЛЛО4: } (\text{ВО}_j = \text{НШС}_j) \wedge (\{X_j^T, Y_j^T\} \in Z_{ПГГ}) \wedge (\{X_j^3, Y_j^3\} \in Z_{тер}) \Rightarrow \text{ВО}_j := \text{ПГГ}_j;$$

$$\text{ЛЛО5: } (\text{ВО}_j = \text{НШС}_j) \wedge (\{X_j^T, Y_j^T\} \in Z_{тер}) \wedge (\{X_j^3, Y_j^3\} \in Z_{разв}) \Rightarrow \text{ВО}_j := \text{УВС}_j;$$

$$\text{ЛЛО6: } (\text{ВО}_j = \text{НШС}_j) \wedge (\{X_j^T, Y_j^T\} \in Z_{тер}) \wedge (\{X_j^3, Y_j^3\} \in Z_{кор}) \Rightarrow \text{ВО}_j := \text{НРП}_j;$$

$$\text{ЛЛО7: } (\text{ВО}_j = \text{НШС}_j) \wedge (\text{ПрФМС}_j = 1) \Rightarrow \text{ВО}_j := \text{ФМС}_j;$$

где  $\overline{K_j^T}, \overline{П_j^T}$  - вектор текущих координат и признаков  $j$ -го воздушного объекта,

$$\overline{K_j^T} = \{X_j^T, Y_j^T, H_j^T, \Psi_j^T, V_j^T\}, \quad \overline{П_j^T} = \{\text{ПрОГП}_j^T, K_j^T, T_j^T, \text{ПрМ}_j^T\};$$

$\overline{K_j^{пл}}, \overline{П_j^{пл}}$  - вектора плановых координат и признаков  $j$ -го воздушного объекта,

$$\overline{K_j^{пл}} = \{X_j^{пл}, Y_j^{пл}, H_j^{пл}, \Psi_j^{пл}, V_j^{пл}\}, \quad \overline{П_j^{пл}} = \{\text{ПрОГП}_j^{пл}, K_j^{пл}, T_j^{пл}, \text{ПрМ}_j^{пл}\}; \quad Z_{отв} = \{Z_{разв}, Z_{ПГГ}, Z_{кор}, Z_{запр}\}.$$

Известно, что значения составляющих векторов текущих координат и признаков в системе ПВО получают от средств радиолокационной разведки составляющих векторов плановых координат и признаков получают от центров УВД.

Анализ приведенных выше логико-лингвистических описаний типов ситуаций позволяет выявить типы отношений между текущими и плановыми данными процесса классификации воздушных объектов-нарушителей правил использования воздушного пространства.

При сравнении текущих и плановых данных можно выделить:

а) пространственные отношения между координатными данными и параметрами движения воздушных судов:

$$\{X_j^T, Y_j^T, H_j^T, \Psi_j^T, V_j^T\} \text{ и } \{X_j^{пл}, Y_j^{пл}, H_j^{пл}, \Psi_j^{пл}, V_j^{пл}\};$$

б) признаковые отношения между признаковыми данными:

$$\{\text{ПрОГП}_j^T, K_j^T, T_j^T, \text{ПрМ}_j^T\} \text{ и } \{\text{ПрОГП}_j^{пл}, K_j^{пл}, T_j^{пл}, \text{ПрМ}_j^{пл}\}$$

в) временные отношения между временем локализации  $j$ -го воздушного объекта и плановым временем для этого объекта:  $t_j^T$  и  $t_j^{пл}$

При сравнении текущих координат с элементами зоны ответственности объединения ПС можно выделить следующие отношения принадлежности координат воздушных объектов (ВО) к отдельным зонам зоны ответственности:

а) отношение принадлежности ВО к зоне разведки:

$$\{X_j^T, Y_j^T\} \in Z_{разв};$$

б) отношение принадлежности ВО к зоне перед границей:

$$\{X_j^T, Y_j^T\} \in Z_{ПГГ};$$

в) отношение принадлежности ВО к координатам государственной границы:

$$\{X_j^T, Y_j^T\} \in \{X_{ГГ}, Y_{ГГ}\};$$

г) отношение принадлежности ВО к зоне территории объединения ПС,

$$\{X_j^T, Y_j^T\} \in Z_{тер};$$

д) отношение принадлежности ВО к зоне разрешенных коридоров пролета:

$$\{X_j^T, Y_j^T\} \in Z_{кор};$$

е) отношение принадлежности экстраполированных координат ВО, реально находящихся вне зоны территории объединения ПС, к зоне территории этого объединения:

$$\{X_j^3, Y_j^3\} \in Z_{тер};$$

ж) отношение принадлежности экстраполированных координат ВО, находящегося в воздушном пространстве над территорией объединения ПС, к зонам за государственной границей:

$$\{X_j^3, Y_j^3\} \in (Z_{ПГГ} \vee Z_{разв}).$$

Проведенный анализ перечисленных отношений позволил сформулировать правила оценки истинности этих отношений в следующем виде:

• для пространственных отношений:

$$A1: \left( |X_j^T - X_j^{пл}| \leq \Delta X \right) \Rightarrow F_{1.1} = 1;$$

$$A2: \left( |Y_j^T - Y_j^{пл}| \leq \Delta Y \right) \Rightarrow F_{1.2} = 1;$$

$$A3: \left( |H_j^T - H_j^{пл}| \leq \Delta H \right) \Rightarrow F_{1.3} = 1;$$

$$A4: \left( |\Psi_j^T - \Psi_j^{пл}| \leq \Delta \Psi \right) \Rightarrow F_{1.4} = 1;$$

$$A5: \left( |V_j^T - V_j^{пл}| \leq \Delta V \right) \Rightarrow F_{1.5} = 1.$$

• для признаков отношений:

$$A6: \left( \text{ПрОГПГ}^T = \text{ПрОГПГ}^{пл} \right) \Rightarrow F_{1.6} = 1;$$

$$A7: \left( K_j^T = K_j^{пл} \right) \Rightarrow F_{1.7} = 1;$$

$$A8: \left( T_j^T = T_j^{пл} \right) \Rightarrow F_{1.8} = 1;$$

$$A9: \left( \text{ПрМ}^T = \text{ПрМ}^{пл} \right) \Rightarrow F_{1.9} = 1;$$

• для временных отношений:

$$A10: \left( |t_j^T - t_j^{пл}| \leq \Delta t \right) \Rightarrow F_{1.10} = 1;$$

• для отношений принадлежности:

$$A11: \left( \begin{matrix} D_{ГГ}(B_j^T) < D_j^T(B_j^T) \leq \\ \leq D_{ПГГ}(B_j^T) \end{matrix} \right) \Rightarrow F_2 = 1;$$

$$A12: \left( D_j^3(B_j^T) \leq D_{ГГ}(B_j^T) \right) \Rightarrow F_3 = 1;$$

$$A13: \left( D_j^T(B_j^T) = D_{ГГ}(B_j^T) \right) \Rightarrow F_4 = 1;$$

$$A14: \left( D_j^3(B_j^3) > D_{ГГ}(B_j^3) \right) \Rightarrow F_5 = 1;$$

$$A15: \left( D_j^T(B_j^T) = D_{кор}(B_j^T) \right) \Rightarrow F_6 = 1;$$

$$A16: \left( D_j^T(B_j^T) < D_{ГГ}(B_j^T) \right) \Rightarrow F_7 = 1;$$

• для признаков описывающих разные стороны форс-мажорной ситуации:

$$A17: \left( \text{ПрБ.ПАСС} = 1 \right) \Rightarrow F_8 = 1;$$

$$A18: \left( \text{ПрПОЖАР} = 1 \right) \Rightarrow F_9 = 1;$$

$$A19: \left( \text{ПрНЕИСП} = 1 \right) \Rightarrow F_{10} = 1;$$

$$A20: \left( \text{ПрТЕРОР} = 1 \right) \Rightarrow F_{11} = 1.$$

Полученные правила оценки истинности отношений были использованы в качестве исходных продуктов (аксиом) при построении сетевой модели процесса классификации типов нарушений ВО правил использования воздушного пространства. Модель представлена на рис. 2.

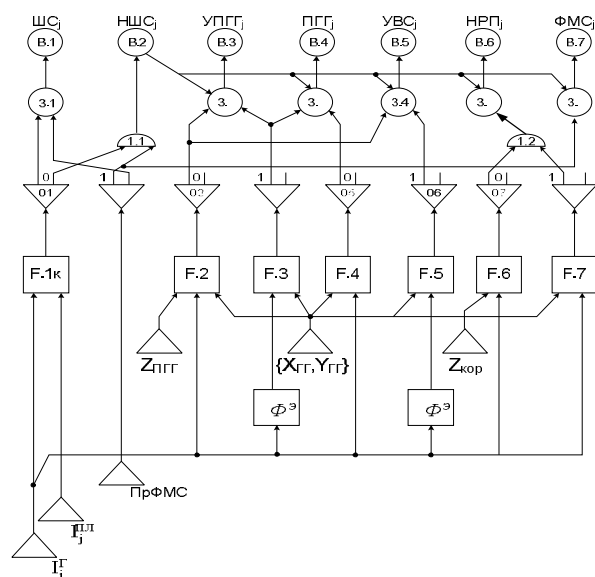


Рис. 2 Сетевая модель процесса классификации ситуаций и типов нарушений ВО

В качестве исходных данных для классификации типов нарушений правил использования воздушного пространства применяются сведения от источников радиолокационного и диспетчерского контролей.

Сообщения от источников радиолокационной разведки, которые являются источниками радиолокационного контроля, включают в свой состав координатные, признаковые и временные данные. Эти сообщения формируются по результатам каждого обзора пространства и имеют минимальную задержку по времени. Поэтому сообщения от источников радиолокационной разведки следует считать текущими и представить в виде:

$$J_j^T = \{j^T, \overline{K_j^T}, \overline{\Pi_j^T}, t_j^T\},$$

где  $j^T$  - текущий номер ВО;

$\overline{K_j^T}, \overline{\Pi_j^T}$  - вектора текущих координат и признаков j-го ВО;

$t_j^T$  - текущее время локации ВО;

Источникам диспетчерского контроля являются центры УВД, от которых на КП объединения ПС поступают следующие сообщения:

- извещения на предстоящие полеты в течение ближайших суток;
- извещения на предстоящие полеты на ближайшие 2 часа;
- сообщения о взлетах и посадках самолетов, летящих по расписанию или извещениям с указанием номера рейса ( $j^P$ ), номера борта ( $j^B$ ) и номера трассы постоянного маршрута ( $j^M$ );
- сообщения об отклонениях от маршрутов и о воздушных объектах, попавших в форс-мажорные ситуации.

На базе этих извещений и сообщений в группе контроля полетов своей авиации КП объединения ПС прогнозируются данные о ВО на текущий момент и представляются как плановые данные в виде:

$$J_j^{пл} = \{j^{пл}, \overline{K_j^{пл}}, \overline{\Pi_j^{пл}}, t_j^{пл}\},$$

где  $j^{пл}$  - плановый номер ВО, данные о котором прогнозируются и представляется в виде

$$j^{пл} = (j^P \vee j^B \vee j^M);$$

$\overline{K_j^{пл}}, \overline{\Pi_j^{пл}}$  - вектора плановых координат и признаков j-го ВО;

$t_j^{пл}$  - плановое расчетное время j-го ВО;

Для переработки исходных данных в сети используются функциональные узлы F1...F7, где узел F1 является комплексным и служит для сравнения

множества сведений, заложенных в сообщениях  $J_j^{пл}$  и  $J_j^T$ . Остальные узлы F2... F7 осуществляют проверку принадлежности координат и курса ВО к одной из зон общей зоны ответственности объединений ПС. Остальные узлы сети являются типовыми, кроме узлов В1...В7, которые являются узлами вывода типов ситуаций ( $ШС_j, НШС_j$ ) и нарушений ( $УПГГ_j, ПГГ_j, УВС_j, НРП_j, ФМС_j$ ).

Используя, результаты проверки истинности отношений между исходными данными и логико-лингвистические описания ситуаций и нарушений можно получить правила вывода типов ситуаций и нарушений в виде продукционных правил вывода:

$$B1: \left( \bigcap_{k=1}^{10} (F_{1,k} = 1) \right) \wedge (\text{ПрФМС}_j = 0) \Rightarrow S_j = ШС_j,$$

$$B2: \left( \bigcup_{k=1}^{10} (F_{1,k} = 0) \right) \wedge (\text{ПрФМС}_j = 1) \Rightarrow S_j = НШС_j;$$

$$B3: (S_j = НШС_j) \wedge (F2 = 1) \wedge (F3 = 1) \Rightarrow S_j = УПГГ_j,$$

иначе

$$B4: (S_j = НШС_j) \wedge (F3 = 1) \wedge (F4 = 1) \Rightarrow S_j = ПГГ_j,$$

иначе

$$B5: (S_j = НШС_j) \wedge (F2 = 1) \wedge (F5 = 1) \Rightarrow S_j = УВС_j;$$

иначе

$$B6: (S_j = НШС_j) \wedge (F6 = 1) \wedge (F7 = 1) \Rightarrow S_j = НРП_j;$$

иначе

$$B7: (S_j = НШС_j) \wedge (\text{ПрФМС}_j = 1) \Rightarrow S_j = НРП_j.$$

## 2. Представление данных

Анализ исходных данных, необходимых для реализации процедуры классификации ситуаций действий воздушных объектов и выявления типов нарушений правил использования этими объектами воздушного пространства показал, что необходимо в памяти системы классификации хранить следующие сведения:

- о воздушных объектах на текущее время;
- о воздушных объектах, полеты которых разрешены либо в соответствии с заявками, либо в соответствии с расписаниями рейсов самолетов;
- о зоне ответственности соединения ПС;
- о связях (отношениях) между текущими и плановыми данными о воздушных объектах и составными элементами зоны ответственности соединения ПС;
- о характеристиках перечисленных сведений, которые идентифицируют их.

Эти сведения были использованы для построения модели «сущность-связь» процесса классификации

ции ситуаций и выявления типов нарушений воздушными объектами, модели предметной области. Эта

модель представлена в виде графической диаграммы рис. 3.



Рис. 3. Диаграмма модели «сущность-связь»

На диаграмме представлены типы сущностей – прямоугольниками, атрибуты сущностей – овалами, связи между сущностями – ромбами.

В соответствии с указанными в модели «сущность-связь» сущностям и их атрибутами, связями и их атрибутами и в соответствии с форматами одной из известных систем управления базой данных (СУБД) ориентированной на реляционную модель данных была разработана структура реляционной базы данных.

На диаграмме представлены типы сущностей – прямоугольниками, атрибуты сущностей – овалами, связи между сущностями – ромбами.

В соответствии с указанными в модели «сущность-связь» сущностям и их атрибутами, связями и их атрибутами и в соответствии с форматами одной из известных систем управления базой данных (СУБД) ориентированной на реляционную модель данных была разработана структура реляционной базы данных.

Для обеспечения корректного заполнения таблиц базы данных (БД) установлены такие связи между сущностями (рис. 4):

- от поля «Номер ВО текущего» сущности «ВО текущий» к полю «Номер ВО находящийся» связи «Находится в...»;

- от поля «Номер зоны» сущности «Зона ответственности» к полю «Номер зоны» связи «Находится в...»;

- от поля «Номер ВО текущего» сущности «ВО текущей» к полю «Номер ВО п-с» связи «Соответствие параметров ВО»;

- от поля «Номер ВО планируемый» сущности «ВО планируемый» к полю «Номер ВО п-с» связи «соответствие параметров ВО».

Установления таких связей обеспечивает введение информации в соответствии с связью типа 1:М между сущностями «ВО текущий» и «ВО планируемый».

Разработанная структура базы данных является основой для построения реляционной БД с использованием одной из СУБД.

## Выводы

1. Разработаны модель и метод представления знаний для классификации ситуаций действий воз-

душных объектов и выявления типов нарушений правил использования воздушного пространства. Их разработка базируется на вербальных описаниях классов ситуаций и типов нарушений, на основе которых составлены логико-лингвистические описания, выявлены отношения между характеристиками текущих и планируемых воздушных объектов, между воздушными объектами и составными зонами ответственности объединения ПС, разработаны правила оценки истинности отношений и правила вывода классов ситуаций и типов нарушений, разработана сетевая модель процесса классификации.

2. Разработаны модель и структура базы данных, необходимые для реализации системы классификации ситуаций действий воздушных объектов и их нарушений. Представлены диаграмма концептуальной модели данных и на её основе разработана структура БД, которые позволяют построить реляционную БД.

### Список литературы

1. Автоматизация управления войсками (Методологические проблемы) / Под рук. В.М. Бондаренко. - М.: Воениздат, 1977. - 301 с.
2. Иванов С.И. Модель представления знаний о типах нарушений правил движения воздушными судами / С.И. Иванов, С.В. Сомов // Збірник наукових праць ХВУ. - Х., 2002. - Вып. 1 (39). - С. 46-50.
3. Осуга С. Обработка знаний: Пер. с японского / С. Осуга. - М.: Мир, 1989. - 293 с.

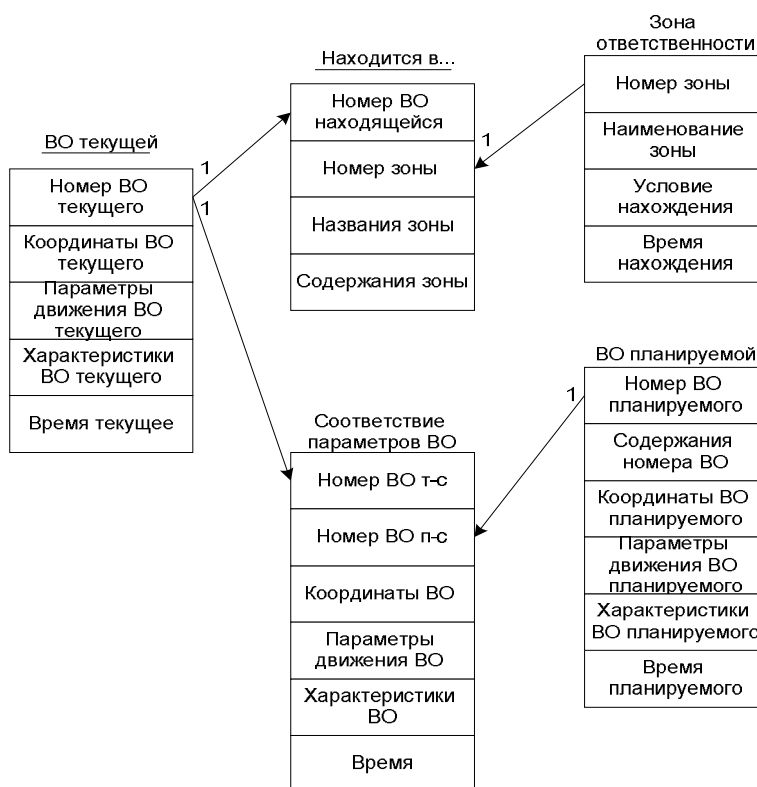


Рис. 4. Структура базы данных

4. Искусственный интеллект. - В 3-х книгах. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Радио и связь, 1990. - 304 с.

5. Павленко М.А. Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени / М.А. Павленко // Системы обработки информации. - Х.: ХВУ, 2004. - Вып. 9 (37). - С. 124-133.

Поступила в редколлегию 29.04.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент М.Ю. Павленко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАТЬ ТА ДАНИХ ПРО ПОВІТРЯНІ ОБ'ЄКТИ-ПОРУШНИКИ ПРАВИЛ ВИКОРИСТАННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

С.І. Іванов, Л.Б. Цюрак, О.В. Давиденко

Розглядається методи та моделі представлення знань та даних про повітряні об'єкти, які є порушниками правил використання повітряного простору України. Метод та модель представлення знань базуються на вербальних описах ситуацій дій повітряних судів в межах повітряного простору України і заданих відповідними директивними документами, але апріорні дані, потрібні для опису названих ситуацій, представляються у виді реляційної (таблиць) бази даних. Пропонуються правила виводу класів ситуацій дій повітряних об'єктів та типів їх порушень на базі продукційних систем і порядок маніпулювання ними в підсистемах підтримки прийняття рішень в АСУ ПС України.

**Ключові слова:** дані, знання, модель подання знань, модель подання даних, продукційне правило виводу.

### REPRESENTATION OF KNOWLEDGES AND INFORMATION ABOUT AIR OBJECTS-VIOLATORS OF THE USE OF AIR SPACE RULES

S.I. Ivanov, L.B. Cyurak, O.V. Davidenko

Methods and models of representation of knowledge's and information are examined about air objects which are the violators of rules of the use of air space of Ukraine. A method and model of representation of knowledge's are based on verbal descriptions and situations of actions of air courts within bounds of air space of Ukraine and set the proper directive documents, and a priori information, necessary for description of the adopted situations, appears as a relational (tabular) database. Inference of classes of situations of actions of air objects and types of their violations rules are offered on a base in the subsystems of support of making a decision in to ACE PS Ukraine.

**Keywords:** information, knowledge's, model of presentation of information, representation of knowledge's, inference rule of products.