

## Проектирование структуры распределенной базы пространственных данных в сложно структурированных иерархических географических информационных системах

С.В. Павлов<sup>1</sup>, А.С. Самойлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа

<sup>2</sup>ОАО «Газпром газораспределение Уфа», Уфа

**Аннотация:** Для решения задачи обслуживания и развития протяженных распределительных инженерных сетей обслуживаемых эксплуатирующими предприятиями на сегодняшний день используются географические информационные системы (ГИС). Для того, чтобы учесть требования, предъявляемые всеми подразделениями предприятия к ГИС необходимо проектирование и последующее создание территориально распределенной корпоративной базы геоданных (БГД) предприятия. В силу того, что база данных предприятия имеет сложную распределенную многоуровневую структуру, требуется детальное рассмотрение всех элементов, входящих в состав БГД предприятия. Рассмотрены основные элементы корпоративной базы данных предприятия, состоящего из территориально удаленных подразделений, проведен анализ взаимосвязей и отношений между этими элементами и предложен метод, основанный на теоретико-множественном представлении и анализе пространственных данных, позволяющий сформировать непротиворечивую структуру распределенной базы данных.

**Ключевые слова:** геоинформационная система, корпоративная база геоданных, распределенная база данных, проектирование структуры базы данных

Повседневная деятельность промышленных предприятий во многом зависит от бесперебойного и безаварийного обеспечения энергоресурсами, в том числе газом, осуществляемого эксплуатирующими инженерные сети предприятиями, которые, как правило, имеют сложную иерархическую структуру.

Учитывая, что структурные подразделения эксплуатирующих предприятий, объекты газовых сетей (газопроводы, запорная арматура, пункты редуцирования газа) и обслуживаемое оборудование, зачастую, значительно территориально распределены, проведение анализа имеющихся активов предприятия и принятие управленческих решений немислимо без использования геоинформационных систем (ГИС) [1-3].

Формирование структуры базы пространственных данных геоинформационной системы является важной и сложной задачей, для решения которой требуется подробное изучение и описание, входящей в её состав пространственной и атрибутивной информации, используемой различными пользователями. При этом структура базы пространственных данных должна учитывать организационную структуру управления ресурсораспределительного предприятия, а также функциональные возможности проектируемой ГИС [4,5].

Предприятие согласно организационной и территориальной иерархии включает в себя: первый уровень – аппарат управления, второй уровень – территориальное подразделение, третий уровень – районная эксплуатационная служба (участок), в которой каждая структура обслуживает закрепленную за ней территорию, а ввод и актуализация пространственной и атрибутивной информации в базу данных осуществляется непосредственно в обслуживающих подразделениях, вследствие чего база геоданных эксплуатирующих предприятий имеет распределенный характер (рис. 1). Подробно организация многопользовательского доступа к пространственной информации на примере одного из ресурсораспределительных предприятий Республики Башкортостан рассмотрена авторами в работе [2].

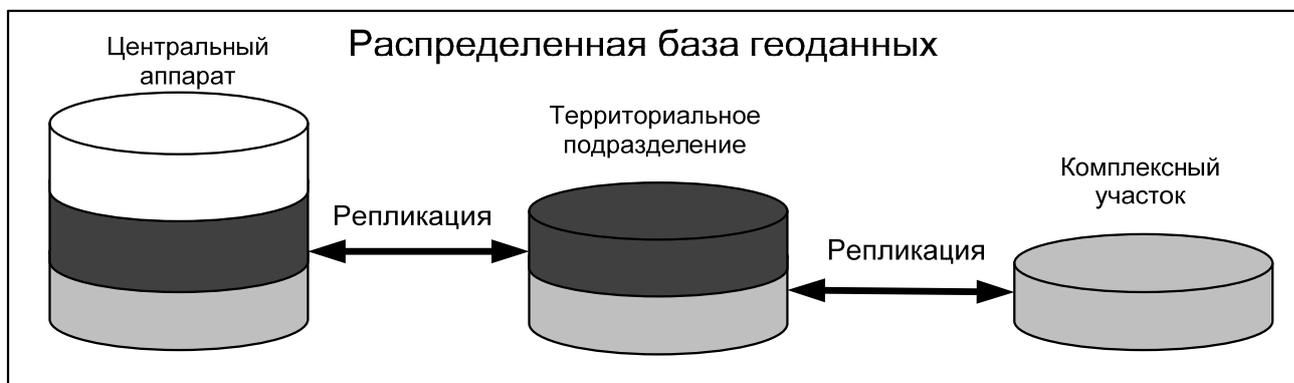


Рис. 1. - Структура базы пространственных данных ГИС эксплуатирующих предприятий.

При создании корпоративных геоинформационных систем [6] необходимо учитывать, что данные об объектах предприятия являются совокупностью следующих составляющих:

– пространственные данные, представляющие собой геометрические объекты в пространстве, которые необходимы всем сотрудникам предприятия;

– атрибутивные данные, представляющие собой табличную информацию, характеризующую объекты.

Для формализованного описания всех частей пространственной информации и связей между ними введем обозначения:  $DB_0$  – база данных всего предприятия,  $DB_i$  – базы данных  $i$ -го подразделения предприятия, где  $i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – количество подразделений предприятия, а распределенная база данных всего предприятия, является объединением этих баз данных:

$$DB_0 = \bigcup_{i=\overline{1, n}} DB_i.$$

Специалисты каждого отдельно взятого подразделения используют в своей работе информацию о территории своей зоны обслуживания и о части территорий зон обслуживания соседних подразделений (рис. 2), при этом соседними подразделениями считаются подразделения, у которых имеются общие границы обслуживания.

В силу вышесказанного базу данных подразделения предприятия можно представить в виде объединения баз данных, одна из которых содержит информацию непосредственно об объектах самого подразделения ( $DB_i^*$ ) и вторая - информацию о части объектов расположенных на территориях соседних подразделений ( $DB_{ik}^A$ ):

$$DB_i = DB_i^* \bigcup_{k=\overline{1, n}} DB_{ik}^A, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Обозначим данные необходимые двум подразделениям предприятия  $DB_{ik}^A$ , они являются пересечением баз данных  $i$ -го и  $k$ -го подразделений:

$$DB_{ik}^A = DB_i \cap DB_k, i = \overline{1, n}; k = \overline{1, n} .$$

Введем обозначение:  $BOD$  – база общих данных для всего предприятия обозначим, то есть таких данных, которые необходимы более, чем одному, территориальному подразделению. В силу введенных обозначений она является пресечением баз данных всех подразделений или объединением информации об объектах расположенных на территориях соседних подразделений предприятия:

$$BOD = \bigcap_{i=\overline{1, n}} DB_i = \bigcup_{\substack{i=\overline{1, n} \\ k=\overline{1, n}}} DB_{ik}^A .$$

Данные, необходимые трем соседним подразделениям обозначим как  $\overline{DB_{ijk}}$ , они представляют собой пересечение баз данных  $i$ -го,  $j$ -го и  $k$ -го подразделений, и в то же время пересечение баз данных необходимых двум соседним территориальным подразделениям

$$\overline{DB_{ijk}} = DB_i \cap DB_k \cap DB_j = DB_{ik}^A \cap DB_{jk}^A \cap DB_{ij}^A, i, j, k = k = \overline{1, n}.$$

База данных содержащая информацию необходимую не менее чем трем любым территориальным подразделениям предприятия может быть представлена:

$$\overline{DB} = \bigcup_{\substack{i=\overline{1, n} \\ j=\overline{1, n} \\ k=\overline{1, n}}} \overline{DB_{ijk}} .$$

В силу введенных обозначений база данных, содержащая информацию об общих объектах соседних подразделений, является совокупностью баз данных, содержащих информацию об общих объектах каждого отдельно взятого подразделения  $DB_{ik}^A$ :

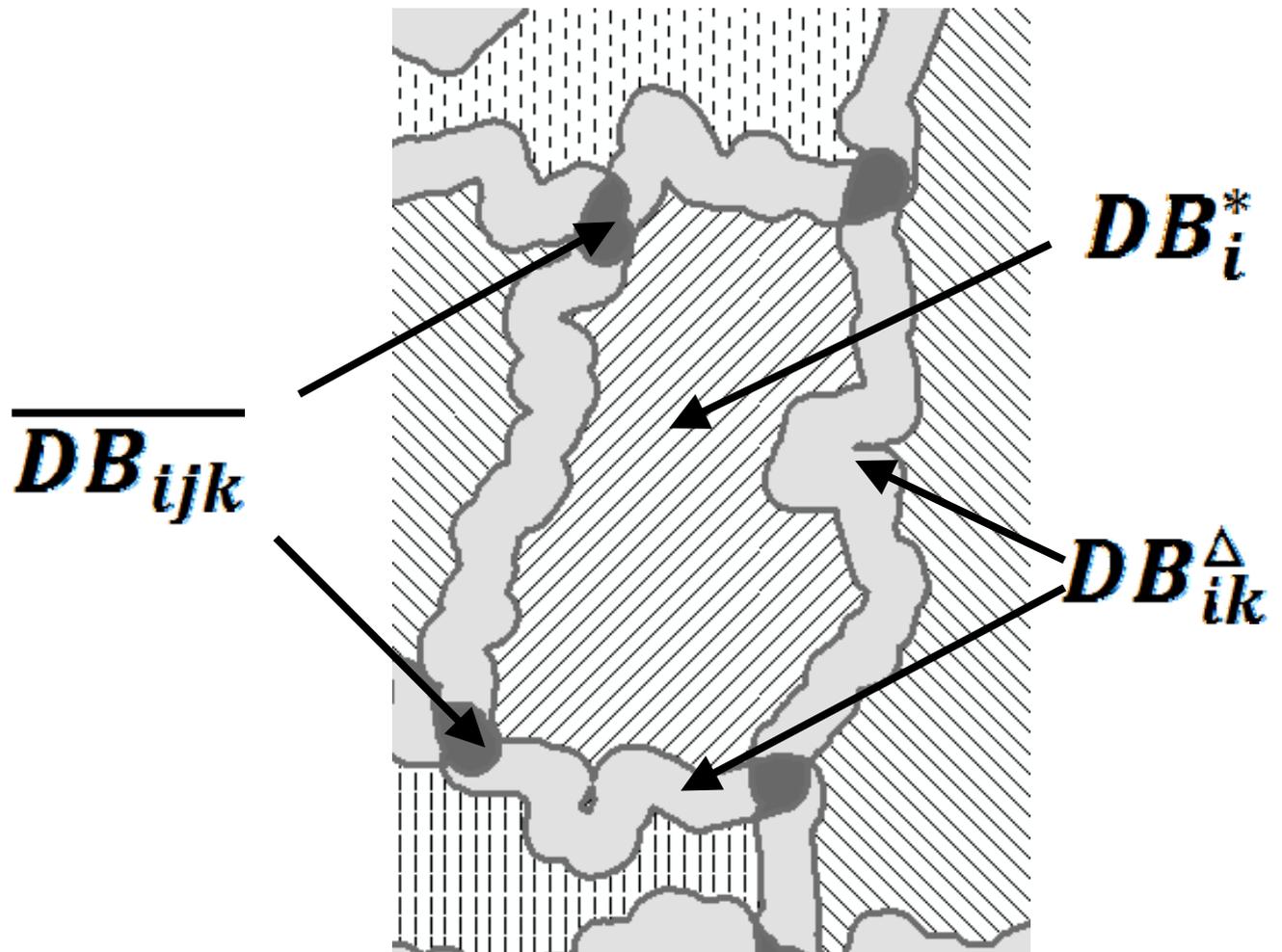


Рис. 2. - Разграничение зон обслуживания подразделений ( $DB_i^*$ - зона обслуживания одного территориального подразделения,  $DB_{ik}^{\Delta}$ - зона, входящая в состав баз данных двух соседних территориальных подразделений,  $\overline{DB_{ijk}}$  – зона входящая в состав баз данных трех соседних подразделений).

$$DB^{\Delta} = \bigcup_{\substack{i=1, \bar{n} \\ j=1, \bar{n}}} DB_{ij}^{\Delta},$$

а база данных всего предприятия является разностью совокупности баз данных всех подразделений и данных необходимых более чем двум подразделениям:

$$DB_0 = (\bigcup_{i=1, \bar{n}} DB_i) / BOD = \bigcup_{i=1, \bar{n}} DB_i^*,$$

при этом для двух соседних подразделений пересечение их баз данных не является пустым множеством:

$$DB_{ik_1}^A \bigcap_{i=1, n} DB_{ik_2}^A \neq \emptyset.$$

Так как в  $DB_0$  есть данные, необходимые более чем двум пользователям (подразделениям) предприятия, эти данные и будут являться BOD, а BOD – является подмножеством базы данных всего предприятия:

$$BOD \subset DB_0.$$

При этом пересечение BOD с  $DB_i$  не являются пустыми множествами:

$$BOD \bigcap_{i=1, n} DB_i \neq \emptyset,$$

а пересечение BOD с  $DB_i^*$  является пустым множеством

$$BOD \bigcap_{i=1, n} DB_i^* = \emptyset.$$

В свою очередь каждая отдельно взятая  $DB_i$  состоит из наборов пространственных и атрибутивных данных различных отделов подразделения, которые обозначим  $DB_{ij}$  и может быть представлена как:

$$DB_i = \bigcup_{\substack{i=1, n \\ j=1, k_i}} DB_{ij},$$

где  $k_i$  – количество отделов  $i$ -го подразделения, тогда

$$DB_0 = \bigcup_{i=1, n} DB_i = \bigcup_{i=1, n} \left( \bigcup_{j=1, k_i} DB_{ij} \right).$$

Кроме того база данных  $i$ -го территориального подразделения предприятия является объединением атрибутивных данных  $DB_i^A$ , хранящихся в базе данных в виде таблиц, и пространственной информации  $DB_i^S$ , хранящейся в виде слоев, которые могут быть представлены пространственными объектами с определенными наборами координат,

определяющими местоположение объекта в пространстве [7]. Тогда базу данных территориального подразделения  $DB_i$  можно представить как объединение пространственной и атрибутивной информации

$$DB_i = DB_i^S \cup_{i=1, \overline{n}} DB_i^A.$$

Так как существуют данные общие для нескольких подразделений в виде BOD, то необходимо организовать их централизованное хранение в составе  $DB_0$  и разработать структуру, позволяющую осуществлять репликацию частей  $DB_i$  для каждого  $i$ -го подразделения, так как после редактирования данных в базе данных подразделения  $DB_i$  и согласования их общих частей  $DB_{ij}^A$  в соседних подразделениях, они обновляются в  $DB_0$ .

В целях организации доступа пользователей к информации о пространственных объектах в рамках своих должностных обязанностей, в процессе проектирования структуры базы данных предприятия  $DB_0$  решались задачи разграничения прав доступа:

1. Территориальная принадлежность. Ограничение возможности редактирования данных одного территориального подразделения для пользователей другого территориального подразделения (например пользователи занимающиеся обслуживанием территории одного района не имеют доступа к редактированию данных другого района). Для этого каждая база данных  $DB_i$  подразделяется на несколько частей

$$DB_i = DB_i^1 \cup DB_i^2 \cup \dots \cup DB_i^{g_i}, i = \overline{1, n},$$

где  $g_i$ - количество групп пользователей отвечающих за обслуживание различных территорий предприятия.

Разграничение осуществляется с помощью топологического правила [8] «Находится внутри» (пример на рисунке 3), которое более подробно рассмотрено авторами статьи в [9].

2.1. Разграничение по слоям. Определяется набор доступных пространственных слоев карты и функции работы с данными (например, редактирование)

$$DB_i^S = DB_i^{S_1} \cup DB_i^{S_2} \cup \dots \cup DB_i^{S_{l_i}}, i = \overline{1, n_s}$$

где  $l_i$  – количество отделов предприятия с соответствующими подчиненными функциональными структурами в территориально удаленных подразделениях.

2.1. Разграничение по атрибутивным полям. Необходимо для того, чтобы пользователи одного отдела не имели прав на редактирование данных другого отдела (например пользователи производственно-технического отдела не могут редактировать данные отдела метрологии)

$$DB_i^A = DB_i^{A_1} \cup DB_i^{A_2} \cup \dots \cup DB_i^{A_{r_i}},$$

где  $r_i$  – количество ролей уникальных пользователей имеющих доступ к индивидуальным наборам атрибутивной информации.

Необходимо отметить, что количество групп территориально разграниченных пользователей, количество отделов предприятия и количество ролей пользователей не равны между собой:

$$g_i \neq l_i \neq r_i.$$

При проектировании структуры базы данных учитывая разграничение по территориальной принадлежности, разграничение по слоям и разграничение по атрибутивным полям получим:

$$DB_0 = \bigcup_{i=1, n} DB_i^{g_i} = \left( \bigcup_{i=1, n} DB_i^{S_{l_i}} \right) \cup \left( \bigcup_{i=1, n} DB_i^{A_{r_i}} \right).$$

А так же учитывая (1), что база данных каждого территориального подразделения состоит из уникальной части и общей части для территориальных подразделений, задача формирования структуры

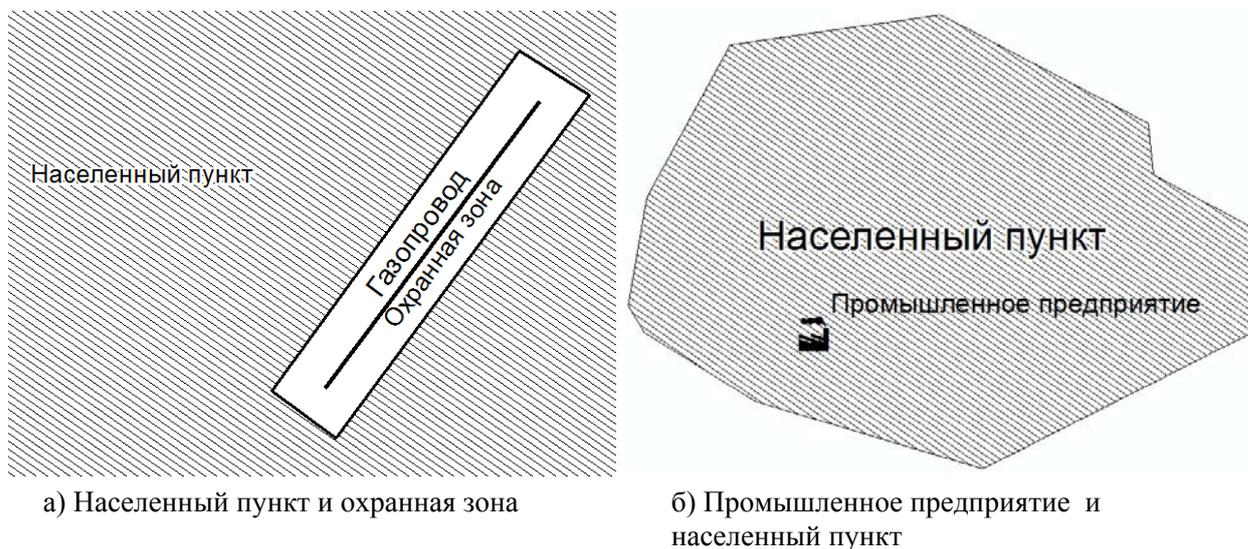


Рис. 3. - Топологические ситуации, иллюстрирующие отношение «находится внутри» для а) двух областей, б) точки и области.

распределенной базы данных  $DB_0$ , состоящей из объединения  $DB_i$ , заключается в таком выделении в каждой  $DB_i$  части пространственных и атрибутивных данных, чтобы выполнялось соотношение:

$$\begin{aligned}
 DB_0 &= \bigcup_{i=1, n} (DB_i^{*st} \bigcup_{t=1, n} DB_i^{\Delta st}) = \\
 &= \bigcup_{i=1, n} \left( DB_i^{*st_i} \bigcup_{t=1, n} DB_{tk_i}^{\Delta st_i} \right) \bigcup_{i=1, n} \left( DB_i^{*Ar_i} \bigcup_{t=1, n} DB_{tk_i}^{\Delta Ar_i} \right).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Графически выражение (2) можно представить в виде рисунка 4.

Отметим, что при построении всех  $DB_i, DB_i^*, DB_i^A, \overline{DB_{ijk}}$ ,  $BOD, DB_{ij}, DB_i^S, DB_i^A, DB_i^{st}, DB_i^{st_i}, DB_i^{Ar_i}$  можно построить непротиворечивую структуру данных, необходимую для реализации базы данных предприятия, включающую в себя распределенную базу данных предприятия  $DB_0$  со

множеством входящих в её состав баз данных территориальных подразделений  $DB_t$ , которые содержат в себе пространственную и атрибутивную информацию необходимую специалистам различных отделов

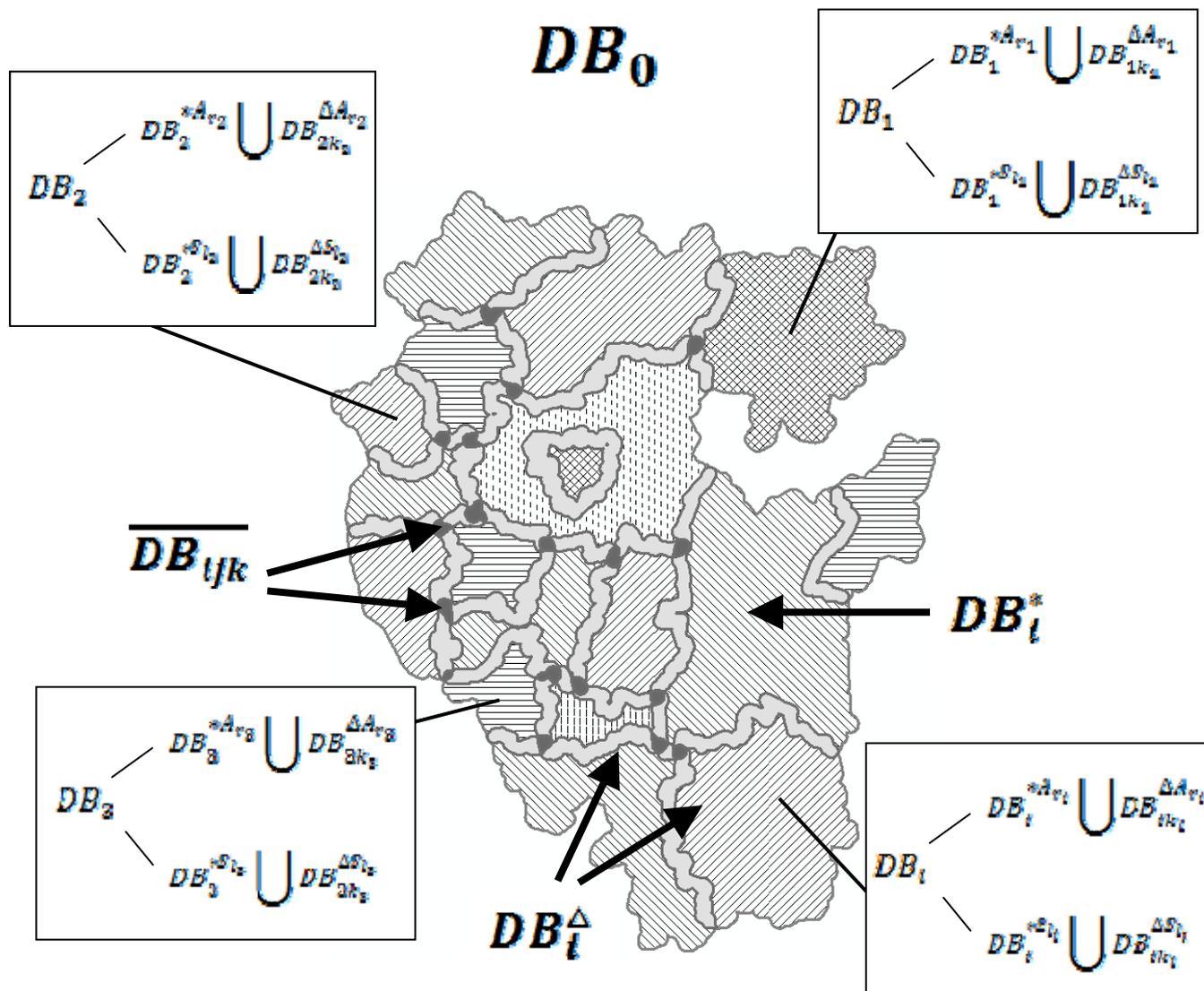


Рис. 4. - Графическое представление распределенной базы данных ГИС ресурсораспределительного предприятия

для решения задач, а также реализовать программное обеспечение для многопользовательского удаленного доступа и обработки этих данных всеми заинтересованными пользователями с целью обеспечения информационной поддержки для принятия решений.

Предложенный метод основан на теоретико-множественном представлении [10] и анализе пространственных данных и позволяет

сформировать непротиворечивую структуру распределенной базы данных, удовлетворяющую потребностям всех территориальных подразделений и пользователей различных отделов предприятия.

Проведен анализ пространственной информации, используемой специалистами территориальных подразделений в повседневной деятельности, который позволил построить структуру распределенной базы пространственных данных на примере газораспределительного предприятия.

### Литература

1. Бадамшин Р.А., Павлов А.С. Многопользовательская обработка распределенно хранящейся пространственной информации в научно-образовательной ГИС РБ // Вестник УГАТУ, 2009. Т. 12, № 1 (30), С. 3-8.
2. Павлов А.С., Павлов С.В., Самойлов А.С. Организация обработки пространственных данных в распределенной геоинформационной системе газораспределительной организации // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 2012. С. 57-62.
3. Павлов А.С., Самойлов А.С. Разработка корпоративной геоинформационной системы газораспределительной организации // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 2011. С. 23-29.
4. Бакланов А.В. Нефть и газ на цифровой карте. М.: ДАТА+, 2008. 205 с.
5. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем / Пер. с англ. М.: Мир, 1973. 316 с.
6. Аксёнова Е.Г. Информационное обеспечение методов эколого-экономического механизма обоснования городских территорий // Инженерный вестник Дона, 2011, №3  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/486](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/486)



7. Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н., Введение в системный анализ. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. 232 с.
8. Eliseo Clementini and Paolino Di Felice. An object calculus for geographic databases. In A CM Symposium on Applied Computing, pp. 302-308, Indianapolis, February 1993.
9. Павлов С.В., Самойлов А.С. Использование топологических отношений для обеспечения актуальности базы пространственных данных в распределенной геоинформационной системе газоснабжения промышленных предприятий // Журнал «Электротехнические и информационные комплексы и системы» № 3, т.10, 2014, с. 75-89
10. John L. Kelley. General Topology. Springer-Verlag, New York, 1955. pp. 1-6
11. Зырянов В.В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий // Инженерный вестник Дона, 2011, №4  
URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/709

### References

1. Badamshin R.A., Pavlov A.S. Vestnik UGATU, 2009. V. 12, № 1 (30), pp. 3-8.
2. Pavlov A.S., Pavlov S.V., Samoylov A.S. Organizatsiya obrabotki prostranstvennykh dannykh v raspredeleynoy geoinformatsionnoy sisteme gazoraspredelel'noy organizatsii [Organization of spatial data processing in a distributed geographic information system, a gas distribution company] Geoinformatsionnye tekhnologii v proektirovanii i sozdanii korporativnykh informatsionnykh sistem: mezhvuz. nauch. sb. Ufa: UGATU, 2012. pp. 57-62.
3. Pavlov A.S., Samoylov A.S. Razrabotka korporativnoy geoinformatsionnoy sistemy gazoraspredelel'noy organizatsii [Development of corporate geographic information system of gas distribution companies] Geoinformatsionnye



tekhnologii v proektirovanii i sozdanii korporativnykh informatsionnykh sistem: mezhvuz. nauch. sb. Ufa: UGATU, 2011. pp. 23-29.

4. Baklanov A.V. Neft' i gaz na tsifrovoy karte. [Oil and gas on a digital map] M.: DATA+, 2008. 205 p.

5. Mesarovich M., Mako D., Takakhara I. Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh sistem. [The theory of hierarchical multilevel systems] Per. s angl. M.: Mir, 1973. 316 p.

6. Aksjonova E.G. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3  
URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/486](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/486)

7. Gubanov V.A., Zakharov V.V., Kovalenko A.N., Vvedenie v sistemnyy analiz. [Introduction to systems analysis] L.: Izd-vo LGU, 1988. 232 p.

8. Eliseo Clementini and Paolino Di Felice. An object calculus for geographic databases. In A CM Symposium on Applied Computing, pp. 302-308, Indianapolis, February 1993.

9. Pavlov S.V., Samoylov A.S. Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy, № 3, v.10, 2014, pp. 75-89

10. John L. Kelley. General Topology. Springer-Verlag, New York, 1955. pp. 1-6

11. Zyrjanov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №4  
URL:[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/709](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/709)