

**ПРАВИЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАСШИРЕННОЙ МОДЕЛИ
«СУЩНОСТЬ-СВЯЗЬ» В РЕЛЯЦИОННУЮ МОДЕЛЬ ДАННЫХ
ПРИ НИСХОДЯЩЕМ ПРОЕКТИРОВАНИИ БАЗ ДАННЫХ**

С. А. Гриценко, В. Ю. Храмов

*Научно-исследовательский испытательный центр радиоэлектронной борьбы
Военного авиационного инженерного университета*

Поступила в редакцию 01.03.2010 г.

Аннотация. В статье приводится теоретическое обобщение основных понятий и определений, используемых в теории нисходящего проектирования баз данных; приводятся разработанные авторами правила преобразования расширенной модели «сущность-связь» в реляционную модель данных.

Ключевые слова: база данных, модель, сущность, связь, диаграмма, мощность, кардинальность, степень участия, иерархия, специализация/генерализация, агрегация, правила преобразования.

Annotation. The theoretical generalization main notion happens to in article and determinations, used in theories of the top-down designing database; happen to the designed author of the rule of the transformation to extended model “entity-relation” in relational model data.

Key words: database, model, entity, relation, the diagram, power, cardinality, degree of the participation, hierarchy, specialization/generalization, aggregation, rules of the transformation.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день существует два основных подхода к проектированию баз данных: восходящий и нисходящий. Восходящий подход лучше всего подходит при проектировании простых баз данных с относительно небольшим количеством атрибутов. Основу восходящего подхода составляет аппарат нормализации [1–3]. Более подходящей стратегией проектирования сложных баз данных является использование нисходящего подхода. На сегодняшний день нисходящий подход, как правило, реализуется с использованием концепции модели «сущность-связь» [1, 2, 4]. Следует отметить, что нисходящий подход не отрицает нормализацию. Более того, целесообразно применение алгоритмов нормализации для низкоуровневых сущностей, у которых проблемы размерности атрибутов уже не существует. Кроме того, алгоритмы нормализации могут быть использованы на этапе преобразования высокоуровневых сущностей и связей в модели «сущность-связь» в низкоуровневые сущности и связи [7].

Основные понятия теории нисходящего проектирования баз данных и их определения, используемые в дальнейшем при изложении результатов исследования подробно рассмотрены в [5–11]. Остановимся на структурных ограничениях, накладываемых на связи. К таким ограничениям относятся ограничения кардинальности и участия [1]. Однако в существующих на сегодняшний день методологиях проектирования баз данных и поддерживающих их инструментальных средствах [1, 2, 12, 13] при концептуальном проектировании баз данных используются только ограничения кардинальности, а ограничения участия рассматриваются только для сильных и слабых сущностей [13], что приводит к нарушению целостности проектируемой базы данных, ведущей к сбоям программного обеспечения при ее эксплуатации и сложности модификации базы данных. Кроме того, ни в одном литературном источнике по базам данных не рассмотрено совместное использование ограничений кардинальности и участия при преобразовании концептуальной модели базы данных в логическую реляционную модель, что играет существенную роль для правильного преобра-

зования вышеуказанных моделей на этапе логического проектирования БД.

Понятий ER-моделирования вполне достаточно для представления большинства схем баз данных. Однако проведенный в [14] анализ существующего состояния в области использования комплексов информационно-расчетных задач для автоматизации процессов управления показал, что для достижения требуемого на сегодняшний день уровня качества и оперативности принимаемых решений необходимо использовать новые типы приложений баз данных, а именно: экспертные системы; системы поддержки принятия решений; инструментальные средства автоматизированного проектирования и создания программ (Computer Aided Software Engineering — CASE), мультимедийные приложения. Эти типы приложений предъявляют к базам данным более строгие требования, чем традиционные, информационно-расчетные приложения. Поэтому основных понятий ER-моделирования оказывается недостаточно для удовлетворения новых требований, выдвигаемых все более усложняющимися приложениями.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МОДЕЛИ «СУЩНОСТЬ-СВЯЗЬ»

Введем определения структурных ограничений и представим их формальное описание.

Ограничение кардинальности описывает количество возможных связей для каждой из сущностей-участниц. На сегодняшний день основными ограничениями кардинальности являются ограничения, накладываемые на бинарные связи, с показателями кардинальности «один к одному» (1:1), «один ко многим» (1:M) и «многие ко многим» (N:M). Обозначения данных связей на ER-диаграмме [9] и их формальные определения представлены в таблице 1.

Формальное определение связи с показателем кардинальности «один к одному» (1:1) говорит о том, что для любой сущности $a \in A$ существует единственная (обозначение – $\exists!$) сущность $b \in B$, находящаяся с ней в связи $r \in R$, и наоборот, для любой сущности $b \in B$ существует единственная сущность $a \in A$, находящаяся с ней в связи $r \in R$. Остальные формальные определения раскрываются аналогично.

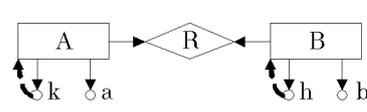
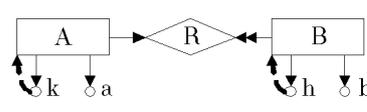
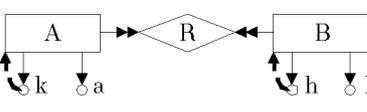
Ограничения участия определяют, зависит ли существование некоторой сущности от участия в связи некоторой другой сущности.

Существует два варианта участия сущности в связи: полное (total) и частичное (partial) [1, 12]. Обозначения связей с частичным и полным участием на ER-диаграмме и их формальные определения представлены в таблице 2.

Для связей со степенью кардинальности «многие ко многим» (N:M) наличие структурных ограничений участия, как будет показано далее, не влияет на преобразование концептуальной модели в логическую реляционную

Таблица 1

Обозначения и формальные определения связей с показателями кардинальности 1:1, 1:M, N:M

№ п/п	ER-представление	Формальное определение
1	Связь 1:1 	$\forall (a \in A) (\exists!(b \in B) \langle arb \rangle, r \in R)$ $\forall (b \in B) (\exists!(a \in A) \langle bra \rangle, r \in R)$
2	Связь 1:M 	$\forall (a \in A) (\exists (b_i \in B) \langle arb_i \rangle, r \in R, i=1,k)$ $\forall (b \in B) (\exists!(a \in A) \langle bra \rangle, r \in R)$
3	Связь N:M 	$\forall (a \in A) (\exists (b_i \in B) \langle arb_i \rangle, r \in R, i=1,k)$ $\forall (b \in B) (\exists (a_j \in A) \langle bra_j \rangle, r \in R, j=1,m)$

Обозначения и формальные определения связей с частичным и полным участием сущностей

№ п/п	ER-представление	Формальное определение
1	Связь 1:1 Частичная степень участия одной из сущностей 	$\exists (b \in B) \mid \forall (a \in A) \langle b \mid ra \rangle, r \in R$
2	Связь 1:1 Частичная степень участия обеих сущностей 	$\exists (b \in B) \mid \forall (a \in A) \langle b \mid ra \rangle, r \in R$ $\exists (a \in A) \mid \forall (b \in B) \langle a \mid rb \rangle, r \in R$
3	Связь 1:M Частичная степень участия сущности с мощностью M 	$\exists (b \in B) \mid \forall (a \in A) \langle b \mid ra \rangle, r \in R$
4	Связь 1:M Частичная степень участия сущности с мощностью 1 	$\exists (a \in A) \mid \forall (b \in B) \langle a \mid rb \rangle, r \in R$
5	Связь 1:M Частичная степень участия обеих сущностей 	$\exists (b \in B) \mid \forall (a \in A) \langle b \mid ra \rangle, r \in R$ $\exists (a \in A) \mid \forall (b \in B) \langle a \mid rb \rangle, r \in R$

модель базы данных. Однако отметим, что формальные определения данного типа связей аналогичны определениям для связи 1:M.

1.2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАСШИРЕННОЙ МОДЕЛИ «СУЩНОСТЬ-СВЯЗЬ»

Как было сказано выше, для удовлетворения новых требований, выдвигаемых все более усложняющимися приложениями, основных понятий ER-моделирования оказывается недостаточно. В [1, 3, 4, 12] предлагались разные семантические модели данных, которые расширяли исходную ER-модель. Такая ER-модель, дополненная новыми возможностями семантического моделирования, получила название расширенной модели «сущность-связь» (или EER-модели (Enhanced ER)).

EER-модель помимо рассмотренных понятий ER-модели включает дополнительные понятия иерархий абстрактных представлений: специализации/генерализации и категоризации [1].

Понятия специализации/генерализации и категоризации связаны с близкими им понятиями типов сущностей, называемых суперклассами и подклассами, а также с процессом наследования атрибутов.

Следует отметить тот факт, что в существующих методологиях концептуального проектирования БД с использованием EER-модели [1, 12] связь между суперклассом и подклассами относится к типу «один к одному». В рассматриваемой в настоящей работе модели, как будет показано при формальном определении иерархий типов, связь между суперклассом и подклассами может относиться также к типу «один ко многим», что существенно расширяет область применения EER-модели.

В отличие от понятий специализации/генерализации, представленных в [1, 12], введенное в данной работе понятие характеризуется обязательным наличием так называемого обобщающего атрибута (type), который, как будет показано ниже, играет особую роль при преобразовании концептуальной модели базы данных в логическую модель. Под обобщающим атрибутом будем понимать атрибут суперкласса иерархии специализации/генерализации, который показывает, как отличить один ее подкласс от другого.

На процедуры специализации и генерализации, также как и на связи, накладываются ограничения непересечения (disjoint constraint) и участия (participation constraint) [1]. В связи с этим можно выделить четыре категории огра-

ничений пересечения и участия для специализации/генерализации: непересекающиеся полные, непересекающиеся частичные, пересекающиеся полные и пересекающиеся частичные. Формальные определения данных категорий представлены в таблице 3.

Введенное в [1] понятие категоризации позволяет осуществлять моделирование одного подкласса со связью, которая охватывает несколько разных суперклассов. В этом случае создаваемый подкласс называют категорией.

Подкласс категории обладает выборочным наследованием, т.е. каждый экземпляр сущности категории наследует атрибуты только одного суперкласса. Иерархия категоризации может быть дополнительно детализирована с учетом полного или частичного участия сторон.

Нетрудно показать, что иерархию категоризации с полным или частичным участием можно представить с помощью иерархии специализации/генерализации (рисунок 1а, б). Кроме того, при возможности использования иерархии специализации/генерализации для концептуального моделирования БД введение иерархии категоризации никак не расширяет описательных (семантических) возможностей EER-модели.

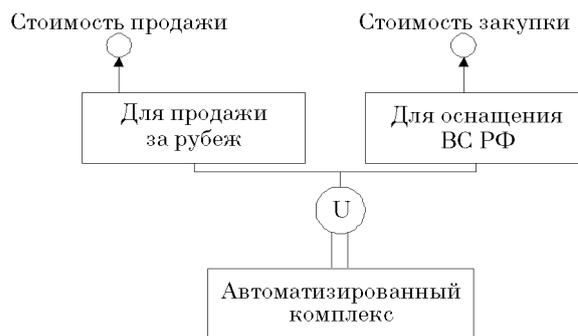


Рис. 1 а. Пример EER-диаграммы с иерархией категоризации

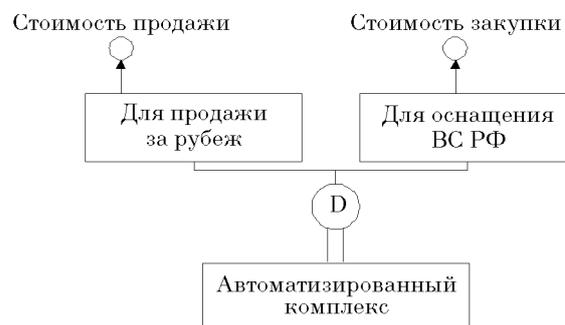


Рис. 1 б. Пример EER-диаграммы с иерархией специализации/генерализации

Таблица 3.

Графические обозначения и формальные определения типов иерархии специализации/генерализации

№ п/п	Тип иерархии	Графическое обозначение	Формальное определение
1	Непересекающаяся, с полным участием		$\forall (a \in (A)) (\exists ! E_i (a \in E_i)), i = \overline{1, N}$
2	Пересекающаяся, с полным участием		$\forall (a \in A) ((\exists E_i, E_j (a \in E_i) \wedge (a \in E_j)) \vee (\exists ! E_k (a \in E_k))), i, j, k = \overline{1, N}$
3	Непересекающаяся, с частичным участием		$\forall (a \in A) ((\exists ! E_i (a \in E_i)) \vee (\forall E_k (a \notin E_k))), i, k = \overline{1, N}$
4	Пересекающаяся, с частичным участием		$\forall (a \in A) ((\exists ! E_n (a \in E_n)) \vee (\forall E_k (a \notin E_k)) \vee (\exists E_i, E_j (a \in E_i) \wedge (a \in E_j))), i, j, k, n = \overline{1, N}$

Гораздо более важным для представления сущностей различного типа является введение в состав EER-модели иерархии агрегации [6, 9, 10], которая позволяет моделировать между сущностями отношение «целое-часть». Иерархия агрегации также может быть дополнительно детализирована с учетом полного или частичного участия сторон.

При полном участии каждый экземпляр суперкласса иерархии агрегации должен быть представлен в экземпляре каждого подкласса, при частичном участии данное требование не обязательно. Однако в отличие от иерархии специализации/генерализации он обязательно должен быть представлен в экземплярах некоторых подклассов.

Формальные определения типов иерархии агрегации и их графические обозначения представлены в таблице 4.

Во введенной иерархии агрегации связь между суперклассом и подклассами относится к типу «один ко многим» (см. таблицу 4). К такому же типу относится и связь между суперклассом и подклассами в пересекающейся иерархии специализации/генерализации.

2. ПРАВИЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАСШИРЕННОЙ МОДЕЛИ «СУЩНОСТЬ-СВЯЗЬ» В РЕЛЯЦИОННУЮ МОДЕЛЬ ДАННЫХ

С учетом причин выбора реляционной модели данных для использования на этапе ло-

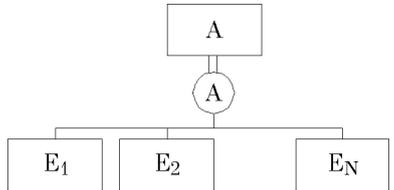
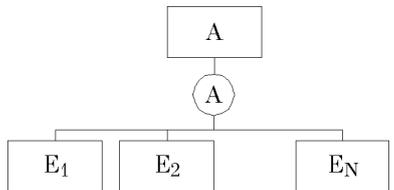
гического проектирования баз данных автоматизированных систем в настоящем разделе представлены правила преобразования основных элементов расширенной модели «сущность-связь» (сущности, связи, иерархии типов) в отношения реляционной модели данных. Данные правила получены с использованием описанного в [15] алгоритма синтеза схемы реляционной базы данных в оптимальной третьей нормальной форме на основе определения функциональных зависимостей (далее по тексту: алгоритм синтеза), объективно существующих между атрибутами сущностей, связей и иерархий типов расширенной модели «сущность-связь». При этом также учитывались ограничения, накладываемые на связи (ограничения кардинальности и участия) и иерархии абстрактных представлений (ограничения пересечения и участия). Для иерархий абстрактных представлений при их преобразовании в отношения реляционной модели данных кроме того учитывалось свойство наследования подклассами атрибутов суперкласса.

Правила преобразования расширенной модели «сущность-связь» (EER-модели) в реляционную модель данных разбиты на три группы:

- правила преобразования сущностей;
- правила преобразования связей;
- правила преобразования иерархий абстрактных представлений (специализации/генерализации и агрегации).

Таблица 4.

Графические обозначения и формальные определения типов иерархии агрегации

№ п/п	Тип иерархии	Графическое обозначение	Формальное определение
1	С полным участием		$\forall (a \in A) \forall E_i (a \in E_i), i = 1, N$
2	С частичным участием		$\forall (a \in A) ((\forall E_i (a \in E_i)) \vee (\exists E_k (a \notin E_k))), i, k = 1, N$

2.1 ПРАВИЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СУЩНОСТЕЙ

Правило 1. Всякая сущность, не являющаяся суперклассом или подклассом, преобразуется в отношение. Имя сущности становится именем отношения.

Правило 2. Каждый простой атрибут и атрибут агрегата становится атрибутом отношения с тем же именем.

Правило 3. Уникальный идентификатор сущности преобразуется в первичный ключ отношения.

Правило 4. Если сущность содержит повторяющийся атрибут, то он представляется отдельным отношением и выступает в качестве первичного атрибута данного отношения.

Полученное с использованием данных правил реляционное представление сущности и ее атрибутов представлено в таблице 5.

Покажем правильность приведенного в таблице 5 реляционного представления.

Рассматриваемой сущности соответствует следующее множество атрибутов (универсальная схема) $U=\{k, a, r, g_1, g_2\}$. Для заданных атрибутов выполняется только одна функциональная зависимость, т.е. множество функциональных зависимостей $F=\{k \rightarrow ag_1g_2\}$. Функциональная зависимость $k \rightarrow r$ не выполняется, так как атрибут r является повторяющимся. В соответствии с алгоритмом синтеза [15] получим две схемы отношений :

$$R_1=\{k, a, g_1, g_2\}, K_1=\{k\};$$

$$R_2=\{k, r\}, K_2=\{kr\}.$$

Таким образом, доказана правильность преобразования сущности и ее атрибутов EER-модели в отношения реляционной модели данных, представленные в таблице 6.

2.2 ПРАВИЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СВЯЗЕЙ

Правило 1. Если тип бинарной связи – «один-к-одному» с полной степенью участия обеих сущностей, то из двух связанных сущностей формируется одно отношение. Первичным ключом этого отношения может быть идентификатор любой из сущностей.

Доказательство.

Приведенному в таблице 6 EER-представлению связи «один-к-одному» с полной степенью участия обеих сущностей (см. п. 1.1.1 таблицы 6) соответствует следующая универсальная схема $U=\{k, a, s, h, b\}$ и множество заданных на ней функциональных зависимостей $F=\{k \rightarrow ash, h \rightarrow bsk\}$. В соответствии с алгоритмом синтеза [15], будет сформирована схема одного отношения $R=\{k, h, a, b, s\}$, $K=\{k, h\}$. Правило доказано.

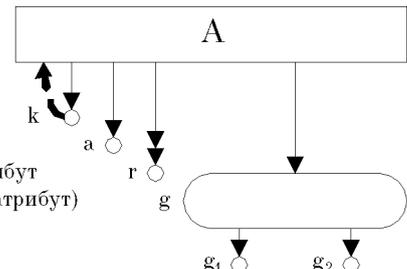
Правило 2. Если тип бинарной связи – «один-к-одному» с частичной степенью участия одной из сущностей, то формируется два отношения (под каждую сущность). При этом идентификатор каждой сущности становится первичным ключом соответствующего отношения. Кроме того, идентификатор сущности с частичным участием добавляется в качестве атрибута в отношение, выделенное для сущности с полным участием.

Доказательство.

Приведенному в таблице 6 EER-представлению связи «один-к-одному» с частичной степенью участия одной из сущностей (см. п. 1.1.2 таблицы 6) соответствует следующая универсальная схема $U=\{k, a, s, h, b\}$ и множество заданных на ней функциональных зависимостей $F=\{k \rightarrow ash, h \rightarrow b\}$. Функциональная зави-

Таблица 5

Реляционное представление сущности и ее атрибутов

EER-представление	Реляционное представление
<p>Сущность</p>  <p>Атрибуты идентификатор простой атрибут повторяющийся атрибут агрегат (составной атрибут)</p>	<p>Два отношения $A(k, a, g_1, g_2)$, $Ar(k, r)$</p>

Реляционное представление связей

№	EER-представление	Реляционное представление
1 1.1 1.1.1	Связи Связи 1:1 Полная степень участия сущностей 	Одно отношение $A'(\underline{k}, a, h, b, s)$ или $B'(\underline{h}, a, k, b, s)$
1.1.2	Частичная степень участия одной из сущностей 	Два отношения $A'(\underline{k}, a, h, s)$, $B(\underline{h}, b)$
1.1.3	Частичная степень участия обеих сущностей 	Три отношения $A(k, a)$, $B(\underline{h}, b)$, $R(\underline{k}, \underline{h}, s)$
1.2 1.2.1	Связи 1:M Полная степень участия сущностей 	Два отношения $A(k, a)$, $B'(\underline{k}, \underline{h}, s, b)$
1.2.2	Частичное участие сущности с мощностью M 	Три отношения $A(k, a)$, $B(\underline{h}, b)$, $R(\underline{k}, \underline{h}, s)$
1.2.3	Частичное участие сущности с мощностью 1 	Два отношения $A(k, a)$, $B'(\underline{k}, \underline{h}, s, b)$
1.2.4	Частичная степень участия сущностей 	Три отношения $A(k, a)$, $B(\underline{h}, b)$, $R(\underline{k}, \underline{h}, s)$
1.3	Связь N:M 	Три отношения $A(\underline{k}, a)$, $B(\underline{h}, b)$, $R(\underline{k}, \underline{h}, s)$

симось $h \rightarrow k$ не выполняется, так как тип сущности B может содержать экземпляры, которым не соответствует ни один экземпляр типа сущности A. Применяя алгоритм синтеза [15], получим две схемы отношений:

$$R_1 = \{k, a, h, s\}, K_1 = \{k\};$$

$$R_2 = \{h, b\}, K_2 = \{h\}.$$

Правило доказано.

Правило 3. Если тип бинарной связи – «один-к-одному» с частичной степенью участия обеих сущностей, то формируются три отношения: по одному для каждой сущности (при этом идентификатор каждой сущности должен служить первичным ключом соответствующего отношения) и одно отношение связи. Отношение связи включает в качестве первичных атрибутов идентификаторы каждой сущности, а так же содержит атрибут связи.

Доказательство.

Приведенному в таблице 6 EER-представлению связи «один-к-одному» с частичной

степенью участия обеих сущностей (см. п. 1.1.3 таблицы 6) соответствует следующая универсальная схема $U = \{k, a, s, h, b\}$ и множество заданных на ней функциональных зависимостей $F = \{k \rightarrow a, h \rightarrow b, kh \rightarrow s\}$. Функциональные зависимости $k \rightarrow h, h \rightarrow k$ не выполняются, так как обе сущности A и B частично участвуют в связи. Применяя алгоритм синтеза [15], получим три схемы отношений:

$$R_1 = \{k, a\}, K_1 = \{k\};$$

$$R_2 = \{h, b\}, K_2 = \{h\};$$

$$R_3 = \{k, h, s\}, K_3 = \{kh\}.$$

Правило доказано.

Правило 4. Если тип бинарной связи – «один-к-многим» с полной степенью участия сущностей, то формируется два отношения (под каждую сущность). При этом идентификатор сущности с мощностью «1» должен служить первичным ключом соответствующего отношения и входит в состав первичного ключа отношения, представляющего сущность с мощностью «M». Ат-

рибут связи добавляется в отношение, соответствующее сущности с мощностью «М».

Доказательство.

Приведенному в таблице 6 EER-представлению связи «один-к-одному» с частичной степенью участия обеих сущностей (см. п. 1.2.4 таблицы 6) соответствует следующая универсальная схема $U=\{k, a, s, h, b\}$ и множество заданных на ней функциональных зависимостей $F=\{k \rightarrow a, kh \rightarrow bs\}$. Применяя алгоритм синтеза [15], получим две схемы отношений:

$$R_1=\{k, a\}, K_1=\{k\};$$

$$R_2=\{k, h, b, s\}, K_2=\{kh\}.$$

Правило доказано.

Правило 5. Если тип бинарной связи – «один-ко-многим» с частичной степенью участия сущности с мощностью «М», то формируются три отношения: по одному для каждой сущности (при этом идентификатор каждой сущности должен служить первичным ключом соответствующего отношения) и одно отношение связи. Отношение связи включает в качестве первичных атрибутов идентификаторы каждой сущности, а так же содержит атрибут связи.

Доказательство.

Приведенному в таблице 6 EER-представлению связи «один-к-одному» с частичной степенью участия сущности с мощностью «М» (см. п. 1.2.2 таблицы 6) соответствует следующая универсальная схема $U=\{k, a, s, h, b\}$ и множество заданных на ней функциональных зависимостей $F=\{k \rightarrow a, h \rightarrow b, kh \rightarrow s\}$. Применяя алгоритм синтеза [15], получим три схемы отношений:

$$R_1=\{k, a\}, K_1=\{k\};$$

$$R_2=\{h, b\}, K_2=\{h\};$$

$$R_3=\{k, h, s\}, K_3=\{kh\}.$$

Правило доказано.

Правило 6. Если тип бинарной связи – «один-ко-многим» с частичной степенью участия сущности с мощностью «1», то формируется два отношения (под каждую сущность). При этом идентификатор сущности с мощностью «1» должен служить первичным ключом соответствующего отношения и входить в состав первичного ключа отношения, представляющего сущность с мощностью «М». Атрибут связи добавляется в отношение, соответствующее сущности с мощностью «М».

Доказательство.

Приведенному в таблице 6 EER-представлению связи «один-к-одному» с частичной степенью участия сущности с мощностью «1» (см. п. 1.2.3 таблицы 6) соответствует следующая универсальная схема $U=\{k, a, s, h, b\}$ и множество заданных на ней функциональных зависимостей $F=\{k \rightarrow a, kh \rightarrow bs\}$. Применяя алгоритм синтеза [15], получим две схемы отношений:

$$R_1=\{k, a\}, K_1=\{k\};$$

$$R_2=\{k, h, b, s\}, K_2=\{kh\}.$$

Правило доказано.

Правило 7. Если тип бинарной связи – «один-ко-многим» с частичной степенью участия обеих сущностей, то формируются три отношения: по одному для каждой сущности (при этом идентификатор каждой сущности должен служить первичным ключом соответствующего отношения) и одно отношение связи. Отношение связи включает в качестве первичных атрибутов идентификаторы каждой сущности, а так же содержит атрибут связи.

Доказательство.

Приведенному в таблице 6 EER-представлению связи «один-к-одному» с частичной степенью участия обеих сущностей (см. п. 1.2.4 таблицы 6) соответствует следующая универсальная схема $U=\{k, a, s, h, b\}$ и множество заданных на ней функциональных зависимостей $F=\{k \rightarrow a, h \rightarrow b, kh \rightarrow s\}$. Применяя алгоритм синтеза [15], получим три схемы отношений:

$$R_1=\{k, a\}, K_1=\{k\};$$

$$R_2=\{h, b\}, K_2=\{h\};$$

$$R_3=\{k, h, s\}, K_3=\{kh\}.$$

Правило доказано.

Правило 8. Если тип бинарной связи – «многие-ко-многим», то формируются три отношения: по одному для каждой сущности (при этом идентификатор каждой сущности должен служить первичным ключом соответствующего отношения) и одно отношение связи. Отношение связи включает в качестве первичных атрибутов идентификаторы каждой сущности, а так же содержит атрибут связи.

Доказательство.

Приведенному в таблице 6 EER-представлению связи «один-к-одному» с частичной степенью участия обеих сущностей (см. п. 1.3 таблицы 6) соответствует следующая универ-

сальная схема $U=\{k, a, s, h, b\}$ и множество заданных на ней функциональных зависимостей $F=\{k \rightarrow a, h \rightarrow b, kh \rightarrow s\}$. Применяя алгоритм синтеза [15], получим три схемы отношений:

$$R_1=\{k, a\}, K_1=\{k\};$$

$$R_2=\{h, b\}, K_2=\{h\};$$

$$R_3=\{k, h, s\}, K_3=\{kh\}.$$

Правило доказано.

Полученное с использованием данных правил реляционное представление связей представлено в таблице 6.

2.3 ПРАВИЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЕРАРХИЙ АБСТРАКТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Преобразование иерархий абстрактных представлений: специализации/генерализации

и агрегации, – в реляционное представление сводится к преобразованию связей «суперкласс/подкласс».

Вначале рассмотрим правила преобразования для иерархии специализации/генерализации.

Возможность наследования атрибутов суперкласса подклассами позволяет представлять связи «суперкласс/подкласс», используя следующие правила:

- 1) суперкласс и все подклассы в одном отношении;
- 2) для каждого подкласса – отдельное отношение;
- 3) для суперкласса и каждого подкласса – отдельное отношение.

В соответствии с данными правилами иерархия специализации/генерализации может быть представлена следующим образом (таблица 7).

Таблица 7

Возможные реляционные представления иерархии специализации/генерализации

EER-представление	Реляционное представление
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Одно отношение $C'(\underline{k}, \text{type}, c, a, b)$ 2. Два отношения $A'(\underline{k}, c, a)$ $B'(\underline{k}, c, b)$ 3. Три отношения $C'(\underline{k}, \text{type}, c)$ $A'(\underline{k}, a)$ $B'(\underline{k}, b)$

Таблица 8

Преимущества и недостатки различных способов представления иерархии специализации/генерализации

Количество отношений	Преимущества	Недостатки
1	<ul style="list-style-type: none"> – все данные хранятся вместе, что обеспечивает быстрый доступ к информации суперкласса и подклассов; – сохраняются связи «суперкласс/подкласс». 	<ul style="list-style-type: none"> – существенная избыточность данных по сравнению со способом представления иерархии в виде двух отношений (хранимых значений на 50–80% больше); – наличие в отношении неопределенных значений.
2	<ul style="list-style-type: none"> – минимальная избыточность данных; – наглядное соответствие логической схемы базы данных и EER-модели; – отсутствие неопределенных значений. 	<ul style="list-style-type: none"> – в результате преобразования может быть сформировано много таблиц, что приводит к снижению производительности выполнения запросов из-за выполнения операции объединения отношений; – потеря связи «суперкласс/подкласс»
3	<ul style="list-style-type: none"> – наглядное соответствие логической схемы базы данных и EER-модели; – отсутствие неопределенных значений; – сохранение связи «суперкласс/подкласс» 	<ul style="list-style-type: none"> – в результате преобразования может быть сформировано много таблиц, что приводит к снижению производительности выполнения запросов из-за выполнения операции объединения отношений; – существенная избыточность данных, сравнимая с первым способом.

Преимущества и недостатки различных способов представления иерархии специализации/генерализации представлены в таблице 8.

Приведенные преимущества и недостатки должны учитываться разработчиками базы данных при выборе конкретного способа представления.

Однако выбор способа представления определяется не только его преимуществами и недостатками, но даже в большей степени ограничениями, накладываемыми на связи «суперкласс/подкласс»: ограничения пересечения и участия, – формальные определения которых были представлены выше. Используя данные определения, рассмотрим преобразования иерархии

специализации/генерализации (таблица 9).

В пересекающейся иерархии, в отличие от непересекающейся (п. 1.2 и 1.1 таблицы 9 соответственно), в состав первичного ключа отношений с использованием первого и третьего правил преобразования должен быть добавлен обобщающий атрибут (*type*), так как в противном случае не будут выполняться функциональные зависимости $k \rightarrow a$, $k \rightarrow b$.

В отличие от иерархии специализации/генерализации в иерархии агрегации связь между суперклассом и подклассами является связью типа *Part_of* (часть-целое). Поэтому представление подклассов отдельными отношениями нецелесообразно в виду большой избыточности.

Таблица 9

Реляционное представление иерархий типов

№ п/п	EER-представление	Реляционное представление
1 1.1	<p>Иерархия специализации / генерализации</p> <p>Непересекающаяся, с полным участием</p>	$C'(\underline{k}, \text{type}, c, a, b)$ или $A'(\underline{k}, c, a); B'(\underline{k}, c, b)$ или $C'(\underline{k}, \text{type}, c); A'(\underline{k}, a); B'(\underline{k}, b)$
1.2	<p>Пересекающаяся, с полным участием</p>	$C'(\underline{k}, \text{type}, c, a, b)$ или $A'(\underline{k}, c, a); B'(\underline{k}, c, b)$ или $C'(\underline{k}, \text{type}, c); A'(\underline{k}, a); B'(\underline{k}, b)$
1.3	<p>Непересекающаяся, с частичным участием</p>	$C'(\underline{k}, \text{type}, c, a, b)$ или $C'(\underline{k}, \text{type}, c); A'(\underline{k}, a); B'(\underline{k}, b)$
1.4	<p>Пересекающаяся, с частичным участием</p>	$C'(\underline{k}, \text{type}, c, a, b)$ или $C'(\underline{k}, \text{type}, c); A'(\underline{k}, a); B'(\underline{k}, b)$
2 2.1	<p>Иерархия агрегации</p> <p>С полным участием</p>	$C'(\underline{k}, c, a, b)$
2.2	<p>С частичным участием</p>	$C'(\underline{k}, c, a, b)$

Кроме того в иерархии агрегации как с полным участием сущностей, так и с частичным участием, всегда будет выполняться функциональная зависимость между идентификатором суперкласса и атрибутами подклассов, т.е. $k \rightarrow sab$ (см. п.п. 2.1, 2.2 таблицы 9). Отсюда следует, что иерархия агрегации всегда может быть представлена одним отношением, включающим все атрибуты суперкласса и подклассов. Первичным ключом данного отношения должен служить идентификатор суперкласса.

Следует отметить, что в отличие от иерархии агрегации с полным участием сущностей отношение, представляющее иерархию агрегации с частичным участием сущностей, будет содержать неопределенные значения атрибутов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, введенные в данной статье правила преобразования сущностей, связей и иерархий абстрактных представлений расширенной модели «сущность-связь» в отношения реляционной модели данных отличаются от правил, представленных в существующих методологиях проектирования баз данных: DATAID [12]; IDEF1X [13]; Т. Конноли, К. Бегг, А. Страчан [1], учетом структурных ограничений, накладываемых на связи (ограничения кардинальности и участия) и иерархии абстрактных представлений (ограничения пересечения и участия); расширенным набором вариантов представления указанных элементов EER-модели в отношения реляционной модели данных; введением и учетом при выполнении преобразований обобщающего атрибута (type) иерархии специализации/генерализации; наличием правил преобразования для введенной в состав расширенной модели «сущность-связь» иерархии агрегации.

Правильность преобразования элементов EER-модели в отношения реляционной модели данных теоретически доказана с использованием разработанного в [15] алгоритма синтеза схемы реляционной базы данных на основе функциональных зависимостей.

Использование предложенных правил позволяет: на этапе логического проектирования осуществлять оптимизацию структуры реляционной базы данных с учетом ограничений на выделяемый для ее хранения объем памяти и оперативность обработки реляционных запросов; обеспечить целостность проектируемой

базы данных (все полученные в результате преобразования отношения находятся в оптимальной третьей нормальной форме); осуществить автоматизированное преобразование графических представлений EER-модели (сущности, связи, иерархии типов) в логическую и физическую схемы реляционной базы данных при создании перспективных инструментальных средств автоматизированного проектирования баз данных (CASE-средств [13]).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конноли Т. Базы данных : проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика / Т. Конноли, К. Бегг, А. Страчан. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2000. – 1120 с.
2. Мейер Д. Теория реляционных баз данных / Д. Мейер. – М. : Мир, 1987. – 608 с.
3. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных, 6-е издание / К. Дж. Дейт. – К.; М.; СПб.: Издательский дом «Вильямс», 1999. – 848 с.
4. Саймон А. Р. Стратегические технологии баз данных / А. Р. Саймон. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 423 с.
5. Храмов В. Ю. Методика построения глобальной концептуальной модели распределенной базы данных и ее преобразования в схему реляционной базы данных / В. Ю. Храмов, О. И. Барабанов // Сборник трудов 5 ЦНИИ МО РФ. «Перспективы развития оборонных информационных технологий». – Воронеж: 5 ЦНИИ МО РФ, 1999. – С. 87–89.
6. Храмов В. Ю. Методология концептуального проектирования информационной базы данных учета функционирования радиосредств охранно-пожарной сигнализации / В. Ю. Храмов, С. А. Десятков, В. И. Сумин // Журнал «Радиотехника», № 9, 2000. – С. 76–79.
7. Храмов В. Ю. Методология концептуального проектирования распределенных баз данных / В. Ю. Храмов, О. И. Барабанов, П. П. Крутских, Н. Н. Толстых // VI Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», Т. 2. – Воронеж: Издательство ВГУ, 2000. – С. 827–838.
8. Храмов В. Ю. Развитие методологии проектирования распределенных реляционных баз данных при создании автоматизированных систем управления военного назначения / В. Ю. Храмов // Научный сборник «Проблемные вопросы автоматизации управления радиоэлектронной борьбой», Выпуск № 2 (131). – Воронеж: Издательство 5 ЦНИИ МО РФ, 2001. – С. 15–20.
9. Храмов В. Ю. Результаты теоретического обобщения методологий проектирования баз данных с использованием расширенной модели «сущность-связь» / В. Ю. Храмов, А. А. Голиусов, И. А. Пог // Материалы Международной научно-методической

конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». Воронеж : ВГУ, 2007. – С. 84–88.

10. Храмов В. Ю. Методологии восходящего и нисходящего проектирования реляционных баз данных автоматизированных систем военного назначения / В. Ю. Храмов, А. А. Голиусов // Депонирована в ЦВНИ МО РФ. Инв. № А29614. Выпуск 1(98), 2008. – 34 с.

11. Храмов В. Ю. Организация баз данных и систем искусственного интеллекта : учеб. пособие / В. Ю. Храмов, Л. Б. Афанасьевский, А. Н. Горин. – Воронеж: Федеральное агентство по образованию, 2004. – 199 с.

12. Computer Aided Data Base Design. The DATAID Project. – Amsterdam: North-Holland, 1985. – 287 p.

Гриценко Сергей Александрович – научный сотрудник научно-исследовательского испытательного центра радиоэлектронной борьбы военного авиационного университета. Тел.: 8-950-770-15-72. E-mail: sergei_gricenko@bk.ru.

Храмов Владимир Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела научно-исследовательского испытательного центра радиоэлектронной борьбы военного авиационного университета. Тел.: 8-903-030-94-88. E-mail: vukhramov@mail.ru.

13. Маклаков С. В. ВРwin и Erwin. CASE-средства разработки информационных систем / С. В. Маклаков. – М : ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. – 256 с.

14. Научно-технический отчет о НИР «Исследование и разработка методов построения экспертных систем поддержки принятия решений должностными лицами органов управления в АСУ военного назначения» (шифр «Интеллектуализация») / Научный руководитель В. И. Кузнецов. – Воронеж: ОАО «Концерн «Созвездие», 2009. – 125 с.

15. Гриценко С. А. Оптимизация построения логической схемы реляционной базы данных в третьей нормальной форме с использованием теории функциональных зависимостей / С. А. Гриценко, В. Ю. Храмов // Сборник трудов 34 Всероссийской научно-технической конференции Воронеж 2010 г.

Gricenko S. A. – researcher of State Research Experimental Centre of Electronic Warfare Military Aircraft University. Tel.: 8-950-770-15-72. E-mail: sergei_gricenko@bk.ru.

Khramov V. U. – Ph.D. in Engineering, associate professor, chief of the department of State Research Experimental Centre of Electronic Warfare Military Aircraft University. Tel.: 8-903-030-94-88. E-mail: vukhramov@mail.ru.