

---

# Методы проектирования БД

- Метод декомпозиции
- Метод «сущность - связь» (ER – метод)
- Метод нормальных форм

1НФ □ 2НФ □ 3НФ □ НФБК

Любая нормальная форма ограничивает типы допустимых зависимостей между атрибутами отношений

---

# Вторая нормальная форма (2НФ)

**Определение 2НФ.** Отношение находится во 2НФ, если оно находится в 1НФ, и каждый **неключевой атрибут функционально полно зависит от составного ключа**, то есть зависит от всего ключа и не зависит от его частей.

Для приведения отношения ко 2НФ надо устранить частичную зависимость от ключа. Для этого отношение раскладывают на два, выполняя проекцию на часть составного ключа и зависящие от нее атрибуты.

# Пример. Приведение ко 2НФ универсального отношения “Библиотека”

- Шифр → Авт
- Шифр → Назв
- Шифр → Год
- Шифр → Экз
- Билет → ФИО
- Билет → Тел
- Шифр, Билет → Дата

**Ключ - Шифр + Билет**

**Выполним** проекцию на функциональные зависимости от атрибута **Шифр**.

**Получим** 2 отношения:  
R1 и R2

- отношение **R1** с ФЗ:  
Шифр → Авт  
Шифр → Назв  
Шифр → Год  
Шифр → Экз
- отношение **R2** с ФЗ:  
Билет → ФИО  
Билет → Тел,  
Шифр, Билет → Дата

**Ключ R1 - Шифр**

**R1** находится во 2НФ.

**Ключ R2 - Шифр + Билет**

**R2** не находится во 2НФ

**Выполним** проекцию на ФЗ от атрибута **Билет**.

**Получим** вместо R2 2 отношения: **R3** и **R4**

- отношение **R3** с ключом **Билет** и ФЗ:

Билет → ФИО  
Билет → Тел,

- отношение **R4** с ключом **Шифр+Билет** и ФЗ:

Шифр, Билет → Дата.

**R3** и **R4** находятся во 2НФ

# Пример. Приведение ко 2 НФ отношения Преподаватель\_Предмет



**Ключ** – Номер + Название

Отношение **Преподаватель**, с ФЗ:

Номер → ФИО, Должность, Оклад,  
Кафедра, Телефон

Должность → Оклад

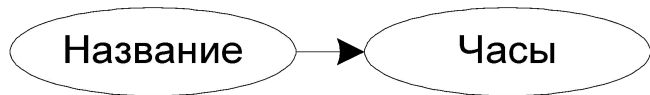
Кафедра → Телефон

Телефон → Кафедра.

**Ключ** – Номер

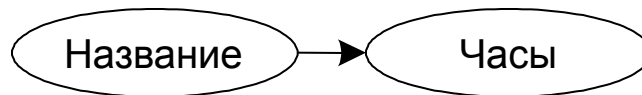
Отношение **Преподаватель** находится во **2НФ**

В исходном отношении остались  
атрибуты Название, Часы и Номер



**Ключ** – Номер + Название

Отношение **Предмет**



Отношение **Преподает**



Отношения **Предмет** и **Преподает** находятся не только во **2НФ**, но и в **НФБК**

# Аномалии 2НФ на примере отношения

## Преподаватель

- Дублирование информации о телефоне для преподавателей одной кафедры или одинаковом для разных преподавателей должностном окладе приводит к тому, что изменение номера телефона кафедры влечет за собой необходимость поиска всех преподавателей, работающих на кафедре и изменения рабочего телефона каждого из них. То же и в случае изменения должностного оклада.
- Нельзя включить данные о новой кафедре, даже ее название, если на кафедре еще отсутствуют преподаватели. То же относится и к новой должности.
- При увольнении с кафедры всех преподавателей данные о ней не сохранятся. Не сохранятся данные и об окладе, например, ассистентов, если в БД не останется ни одного ассистента.

Устранить эти аномалии можно, перейдя к 3НФ.

---

# Третья нормальная форма (3НФ)

*Определение 3НФ.* Отношение находится в 3НФ, если оно находится во 2НФ, и в нем отсутствуют транзитивные зависимости неключевых атрибутов от ключа.

Для приведения отношения, находящегося во 2НФ, к 3НФ нужно выполнить проекции на неключевые атрибуты этого отношения, связанные друг с другом функциональными зависимостями.

---

## Пример. Приведение к 3 НФ отношения Преподаватель

Отношение **Преподаватель**, с ФЗ:

Номер → ФИО, Должность, Оклад,  
Кафедра, Телефон

Должность → Оклад

Кафедра → Телефон

Телефон → Кафедра.



**Выполним** проекцию на:  
атрибуты ФЗ Должность → Оклад  
и  
атрибуты ФЗ Кафедра ↔ Телефон

**Получим 3 отношения:**

- **Должность** (Должность, Оклад),
- **Кафедра** (Кафедра, Телефон),
- **Преподаватель** (Номер, ФИО, Должность, Кафедра)

или

- **Должность** (Должность, Оклад),
- **Телефон** (Телефон, Кафедра),
- **Преподаватель** (Номер, ФИО, Должность, Телефон)

Все отношения находятся в 3НФ и не противоречат определению усиленной 3НФ или НФБК

## Различие между 3НФ и НФБК

В определении 3НФ говорится только о необходимости отсутствия в отношении транзитивных зависимостей **неключевых** атрибутов от ключа.

Наличие в отношении зависимости части одного из возможных ключей от части другого возможного ключа не противоречит 3НФ, но противоречит НФБК.

Различие между 3НФ и НФБК возможно только для отношений, удовлетворяющих следующим условиям:

- Отношение имеет два или более потенциальных ключа.
- Оба ключа являются сложными.
- Потенциальные ключи отношения перекрываются, то есть имеют хотя бы один общий атрибут.

Для отношений, не удовлетворяющих хотя бы одному из этих условий, 3НФ и НФБК эквивалентны.



## Пример, демонстрирующий различие между 3НФ и НФБК

Пусть имеем отношение **R** со схемой:

**R** (Код Поставщика, Имя, Код Товара, Количество).

**Допустим**, что имена поставщиков уникальны, тогда потенциальными ключами этого отношения являются:

- <Код Поставщика, Код Товара>
- <Имя, Код Товара>.

Между атрибутами этого отношения существуют следующие ФЗ:

- Код Поставщика → Имя
- Имя → Код Поставщика
- Код Поставщика, Код Товара → Количество
- Имя, Код Товара, → Количество.

Отношение **не находится в НФБК**, поскольку содержит **детерминанты Код Поставщика и Имя**, определяющие друг друга, но не являющиеся ключами отношения.

Отношение **находится в 3НФ**, так как каждый **неключевой атрибут**, а именно атрибут **Количество**, функционально полно зависит от ключа, что соответствует определению **2НФ**, и в отношении нет транзитивной зависимости неключевого атрибута от ключа.

Отношение **R** содержит некоторую избыточность, которая приводит к аномалиям обновления.

# Аномалии обновления ЗНФ на примере

**Если** поставщик с кодом К1 по имени Иван Иванов поставляет товары с кодами Т1, Т2, Т3, Т4,

Код пост.	Имя пост-ка	Код товара	Кол-во
К1	Иван Иванов	Т1	100
К1	Иван Иванов	Т2	200
К1	Иван Иванов	Т3	150
К1	Иван Иванов	Т4	600

то при изменении кода поставщика придется внести изменения в 4 строки. Чтобы избежать этой проблемы, отношение разбивают на два:

R1 (Код Поставщика, Имя) и

R2 (Код Поставщика, Код Товара, Количество),

Между этими отношениями должна быть установлена связь 1:n по атрибуту Код Поставщика. Для поддержания ссылочной целостности следует использовать вариант каскадного обновления значения поля связи, тогда, заменив значение кода поставщика в одной строке отношения R1, получим такое же изменение в соответствующих строках отношения R2. Можно выбрать и альтернативное разбиение отношения R на R1 (Имя, Код Поставщика) и R2 (Имя, Код Товара, Количество). Связь 1:n между отношениями R1 и R2 устанавливается по полю Имя. В этом случае при изменении значения кода поставщика требуется изменить лишь одну строку отношения R1

## Пример, когда декомпозиция не устраняет аномалии обновления ЗНФ (начало)

Имеем отношение **Обучение** (Студент, Предмет, Преподаватель) со следующими ограничениями:

- Каждый студент, изучающий данный предмет, обучается только одним преподавателем

**Студент, Предмет → Преподаватель**

- Каждый преподаватель ведет только один предмет, но каждый предмет может преподаваться несколькими преподавателями

**Преподаватель → Предмет**

**Возможный ключ – Студент + Предмет или Студент + Преподаватель**

Отношение находится в ЗНФ, но не в НФБК

Выполнив проекцию отношения на Ф3 Преподаватель → Предмет, получим:

**R1 (Студент, Преподаватель)**

**R2 (Преподаватель, Предмет).**

В результате декомпозиции отношения мы потеряли

Ф3 – Студент, Предмет → Преподаватель

Новая проблема – отношения R1 и R2 не могут быть обновлены **независимо** друг от друга.

# Пример, когда декомпозиция не устраняет аномалии обновления 3НФ (окончание)

Отношение Обучение

Студент	Предмет	Преподаватель
Иванов	математика	Белый
Иванов	физика	Черный
Петров	математика	Зеленый
Петров	физика	Красный
Сидоров	математика	Белый
Сидоров	физика	Красный
Митин	математика	Белый

Разбив это отношение на два, получим отношения R1 и R2:

R1	
Студент	Преподаватель
Иванов	Белый
Иванов	Черный
Петров	Зеленый
Петров	Красный
Сидоров	Белый
Сидоров	Красный
Митин	Белый

R2	
Преподаватель	Предмет
Белый	математика
Черный	физика
Зеленый	математика
Красный	физика

Попытка вставить в R1 строку Иванов Красный должна быть отвергнута, так как ...

Красный преподает физику, а Иванов уже обучается физике у Черного.

А строка Митин Красный ?

Это пример ситуации, когда декомпозиция отношения на отношения, находящиеся в НФБК, и декомпозиция на независимые компоненты входят в противоречие.

Удовлетворить одновременно обеим целям удастся не всегда.

# Нормальные формы более высокого порядка, чем НФБК. 4НФ

4НФ отражает ограничения, накладываемые **не** на **функциональные**, а на **многозначные** зависимости между атрибутами отношения.

Многозначную зависимость следует рассматривать как обобщение понятия функциональной зависимости.

**Определение 4НФ:** Отношение находится в 4НФ, если оно находится в НФБК и в нем отсутствуют многозначные зависимости.

**Определение многозначной зависимости (МЗ):** Атрибут В отношения R многозначно зависит от атрибута А ( $A \twoheadrightarrow B$ ), если каждому значению атрибута А соответствует множество значений атрибута В, не связанного с другими атрибутами отношения R

Многозначная зависимость возможна только при наличии в отношении не менее трех атрибутов: ключа и двух независимых друг от друга атрибутов.

Связь между атрибутами А и В, означающую, что каждому значению А соответствует множество значений В, в отличие от многозначной зависимости будем обозначать

**A  $\twoheadrightarrow$  B**

---

## Пример многозначной зависимости между атрибутами отношения

Имеем отношение Читатель\_Книга (Шифр, Билет, ФИО, Телефон).

В нем существуют следующие **ФЗ**:

**Билет** → **ФИО**

**Билет** → **Телефон**

Атрибут Шифр **многозначно** зависит от атрибута Билет:

**Билет** ⇒ **Шифр**

Каждому значению атрибута Шифр соответствует множество значений атрибута Билет:

**Шифр** —>> **Билет**

Каждому значению атрибута Телефон соответствует множество значений атрибута

Билет:

**Телефон** —>> **Билет**

Каждому значению атрибута ФИО соответствует множество значений атрибута Билет и множество значений атрибута Телефон:

**ФИО** —>> **Билет**

**ФИО** —>> **Телефон**

**Аномалия выполнения операции модификации:**

При изменении номера телефона или ФИО читателя надо изменить несколько строк таблицы по числу книг, взятых читателем в данный момент.

Устранение аномалии достигается разложением отношения на два:

**Читатель (Билет, ФИО, Телефон) и Взял (Билет, Шифр)**

---

---

## Пример многозначной зависимости разных независимых друг от друга атрибутов от одного и того же ключевого атрибута

Имеем отношение:

**Преподаватель ( Личный\_номер, ФИО, Дети, Предметы, Должность)**

В нем существуют следующие ФЗ:

**Личный\_номер → ФИО**

**Личный\_номер → Должность**

и следующие многозначные зависимости:

**Личный\_номер ⇒ Дети**

**Личный\_номер ⇒ Предметы.**

Имеет место аномалия вставки. Для ее устранения надо выделить из отношения Преподаватель отношение **Дети (Личный\_номер, Дети)** и отношение **Предметы (Личный\_номер, Предметы)**.

В исходном отношении **Преподаватель** останутся атрибуты **Личный\_номер, ФИО** и **Должность**. Теперь ни одно из трех отношений не содержит многозначных зависимостей.

Каждое из полученных отношений находится в четвертой нормальной форме (**4НФ**)

---

---

## Нормальные формы более высокого порядка, чем НФБК. 5НФ – проекционно-соединительная (начало)

Если многозначных зависимостей более трех, переход к **4НФ** может не устранить избыточного дублирования, а, следовательно, и аномалий обновления. Тогда применяют **5НФ**, которая гарантирует отсутствие аномалий, которые могут быть исключены **разбиением на проекции**, а не вообще всех аномалий.

Приведение отношения, находящегося в 4НФ, к 5НФ выполняется т.о., чтобы результат удовлетворял зависимости по соединению (**3С**).

**Зависимость по соединению** является обобщением понятия **многозначной зависимости** и означает, что исходное отношение может быть восстановлено без потерь путем выполнения операции соединения по отношению к некоторым его проекциям.

Фраза «без потерь» означает, что при восстановлении исходного отношения мы не получим новых кортежей и не потеряем старые, не произойдет также потери зависимостей между атрибутами.

**Определение 5НФ:** Отношение находится в 5НФ тогда, когда любая зависимость по соединению в исходное отношение определяется возможными ключами исходного отношения.

---



## Нормальные формы более высокого порядка, чем НФБК. 5НФ (продолжение)

До 4НФ, включительно, единственной операцией, допустимой или необходимой в процессе декомпозиции, была замена отношения двумя его проекциями. Для некоторых отношений нельзя выполнить декомпозицию без потерь на две проекции, но можно на три и более ( $n$  – декомпозируемое отношение,  $n > 2$ ).

Для отношений, которые подвергаются декомпозиции на проекции и обратной композиции с соединением проекций, не существует более высокой степени зависимости, по отношению к которой ЗС является лишь частным случаем, но, если ввести другие операторы декомпозиции, то возможно появление других типов зависимостей, а следовательно, и других нормальных форм.

Функциональные и многозначные зависимости обнаружить нетрудно, т.к. они имеют интерпретацию в терминах реального мира. Значения зависимостей по соединению не очевидны.

# Пример приведения отношения к 5НФ (начало)

Имеем отношение **Изделие** (Поставщик, Деталь, Изготовитель).

Между каждой парой атрибутов отношения Изделие существует связь «многие-ко-многим»:

- Каждый поставщик может поставлять несколько различных деталей.
- Один и тот же тип детали может поставляться разными поставщиками.
- Изготовитель изделий (сборщик) может использовать разные детали
- Один и тот же тип детали может быть использован разными изготовителями.
- Изготовители могут быть связаны с различными поставщиками,
- Каждый поставщик может работать на несколько изготовителей.

1. **Деталь** << —>> **Изготовитель**

2. **Поставщик** << —>> **Деталь**

3. **Поставщик** << —>> **Изготовитель**

В отношении отсутствуют многозначные зависимости и оно состоит только из атрибутов, входящих в состав первичного ключа. Т.о. по определению отношение находится в **4НФ**.

## Пример приведения отношения к 5НФ (продолжение)

Пусть в некоторый момент времени информация в отношении **Изделие** имеет вид:

Поставщик	Деталь	Изготовитель
П1	Д1	А
П1	Д1	В
П2	Д2	А
П2	Д2	В
П3	Д1	А
П3	Д1	В
П3	Д2	А
П3	Д2	В

Выполним проекции отношения Изделие на зависимости 1, 2, 3.

Получим три отношения – **R1, R2, R3**.

Выполнив операцию естественного соединения отношений R1 и R2 ( $R1 \bowtie R2$ ), получим исходное отношение. Тот же результат даст и любая из операций  $R1 \bowtie R3$  и  $R2 \bowtie R3$ .

Отношения R1, R2, R3 находятся в **5НФ**.

R1	
Поставщик	Деталь
П1	Д1
П2	Д2
П3	Д1
П3	Д1
П3	Д2

R2	
Деталь	Изготовитель
Д1	А
Д1	В
Д2	А
Д2	В

R3	
Поставщик	Изготовитель
П1	А
П1	В
П2	А
П2	В
П3	А
П3	В

## Пример приведения отношения к 5НФ (окончание)

Иногда для того, чтобы получить исходное отношение, недостаточно выполнить одну операцию соединения проекций, может потребоваться последовательное выполнение двух и более операций.

Пусть имеем отношение R. Разложим его на 3 отношения R1, R2, R3, выполнив сначала проекцию на атрибуты A,B, затем на атрибуты A,C и наконец на атрибуты B,C.

R		
A	B	C
a1	b1	c1
a1	b2	c2
a3	b3	c3
a4	b3	c4
a5	b5	c5
a6	b6	c5

R1	
A	B
a1	b1
a1	b2
a3	b3
a4	b3
a5	b5
a6	b6

R2	
A	C
a1	c1
a1	c2
a3	c3
a4	c4
a5	c5
a6	c5

R3	
B	C
b1	c1
b2	c2
b3	c3
b3	c4
b5	c5
b6	c5

Выполнив операцию естественного соединения отношений R1 и R2, получим два лишних по сравнению с отношением R кортежа – **a1,b1,c2** и **a1,b2,c1**.

R1 $\bowtie$ R2		
A	B	C
a1	b1	c1
<b>a1</b>	<b>b1</b>	<b>c2</b>
<b>a1</b>	<b>b2</b>	<b>c1</b>
a1	b2	c2
a3	b3	c3
a4	b3	c4
a5	b5	c5
a6	b6	c5

Выполнив операцию естественного соединения полученного отношения и отношения R3, для которых общими являются атрибуты B и C. Получим отношение **(R1  $\bowtie$  R2)  $\bowtie$  R3**, совпадающее с исходным отношением R. Т.о. отношения R1,R2,R3 находятся в 5НФ, конечно, при условии, что отношение R находится в 4НФ.

## Пример, когда отношение, находящееся в 4НФ не удастся привести к 5НФ (начало)

Заменяем в третьей строке отношение **Изделие** Д2 на Д1 и, выполнив проекцию этого отношения на каждую пару атрибутов, получим отношения **R1, R2, R3**.

Поставщик	Деталь	Изготовитель
П1	Д1	А
П1	Д1	В
П2	Д1	А
П2	Д2	В
П3	Д1	А
П3	Д1	В
П3	Д2	А
П3	Д2	В

R1	
Поставщик	Деталь
П1	Д1
П2	Д1
П2	Д2
П3	Д1
П3	Д2

R2	
Деталь	Изготовитель
Д1	А
Д1	В
Д2	А
Д2	В

R3	
Поставщик	Изготовитель
П1	А
П1	В
П2	А
П2	В
П3	А
П3	В

Выполнив операцию  $R1 \bowtie R2$ , получим отношение **Изделие**, в котором по сравнению с исходным будут два новых кортежа – **П2, Д1, В** и **П2, Д2, А**.

Выполнение операции  $(R1 \bowtie R2) \bowtie R3$  не приведет к исчезновению этих кортежей, поскольку соединение выполняется по атрибутам **Поставщик** и **Изготовитель**, а отношение **R3** имеет кортежи **П2, В** и **П2, А**. Т.о. даже участие в операции соединения всех трех проекций не приводит к получению исходного отношения. Результат разложения не удовлетворяет зависимости по соединению.

## Пример, когда отношение, находящееся в 4НФ не удастся привести к 5НФ (окончание)

Привести отношение к 5НФ не удастся, т.к. негласно оно содержит следующие ограничения:

- Поставщик П1 выпускает только деталь Д1 и поставляет ее как изготовителю А, так и изготовителю В.
- Поставщик П2 выпускает 2 детали – Д1 и Д2, при этом деталь Д1 он поставляет изготовителю А, а деталь Д2 – изготовителю В.
- Поставщик П3 поставляет обе выпускаемые им детали (Д1 и Д2) любому изготовителю.

Невозможность перехода к 5НФ объясняется наличием у поставщика П2 избирательного подхода к выбору изготовителя при поставке каждого вида выпускаемых им деталей.