Выполнение запросов

План выполнения запроса

Как сервер выполняет запрос

- Синтаксический анализ, преобразование запроса в формальное выражение, например в выражение реляционной алгебры (в виде дерева) – логический план
- Преобразование в каноническую форму на основе законов преобразования - логическая оптимизация
- Построение физического плана
  - Выбор алгоритмов и оценка по стоимости
  - Выбор низкоуровневых процедур на основе оценки стоимости
  - Генерация различных вариантов плана выполнения запроса и выбор плана с минимальными затратами
- Интерпретация плана и пересылка результата

Как сервер выполняет запрос

Что используется
- Индексы
- Статистические данные (Системный каталог)

Преимущества
- Многое можно не учитывать при написании запроса
- Оптимизация «здесь» и «сейчас» автоматическая (высокоуровневая)
- Анализ большого числа альтернатив

Проблемы
- Оптимальность не всегда гарантируется
- Всегда выполняется (требует явного отключения в запросе)

Сравнение двух способов

```
select name_ag
     from agent A join operation O
              on (A.id_ag = O.id_ag)
   where O.id_goods ='T1'
```

100 поставщиков

10 000 операций

50 операций с товаром T1

Where и Join

1

- соединение
  - 10 000 * 100 чтений
  - 10 000 записей
- селекция
  - 10 000 чтений, выборка 50 записей
- проекция
  - 50 записей

2

- селекция
  - 10 000 чтений, выборка 50 записей
- соединение
  - 50 * не более 50 записей чтений
  - 50 записей
- проекция
  - 50 записей

План выполнения запроса

План выполнения запроса

- План выполнения запроса — последовательность операций, необходимых для получения результата SQL-операции в реляционной СУБД
- Оценка плана для сравнения и выбора оптимального
  - Кардинальность (количество затрагиваемых строк)
  - Стоимость (оценка сложности алгоритма доступа)

План запроса (синтаксис)

PLAN <выражение>

<выражение> ::= [JOIN | [SORT] [MERGE]] (<элемент> | <выражение>
[, <элемент> | <выражение> ...])

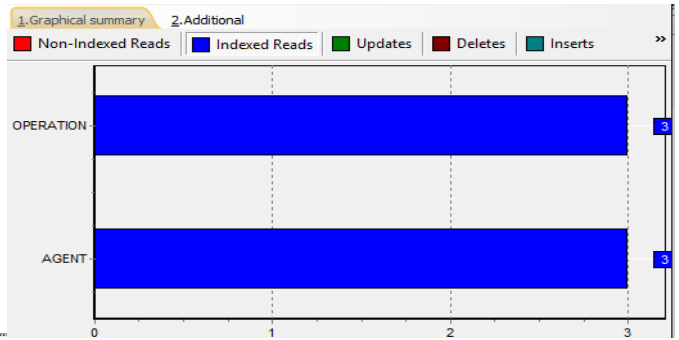
<элемент> ::= {таблицы | псевдоним}
{NATURAL
| INDEX (индекс [, индекс ...])
| ORDER индекс [INDEX (индекс [, индекс ...])]}

PLAN JOIN (O INDEX (FK_OP_1), A INDEX (PK_AGENT))

План в EXPLAIN форме (путь доступа):

```
Select Expression
    -> Nested Loop Join (inner)
        -> Filter
            -> Table "OPERATION" as "O" Access By ID
                -> Bitmap
                    -> Index "FK_OP_1" Range Scan (full match)
        -> Filter
            -> Table "AGENT" as "A" Access By ID
                -> Bitmap
                    -> Index "PK_AGENT" Unique Scan
```

```
------ Performance info ------
Prepare time = 797ms
Execute time = 31ms
Avg fetch time = 10,33 ms
Current memory = 36 110 560
Max memory = 36 332 944
Memory buffers = 2 048
Reads from disk to cache = 2
Writes from cache to disk = 0
Fetches from cache = 3
```



PLAN JOIN				
O INDEX (FK_OP_1)	OPERATION			FK
FK_OP_1	OPERATION	ID_GOODS	0,166666671633...	FK
A INDEX (PK_AGENT)	AGENT			PK
PK_AGENT	AGENT	ID_AG	0,142857149243...	PK

Путь доступа

- Набор операций над данными, выполняемых сервером для получения результата заданной выборки, называется **путем доступа**.
- Путь доступа можно представить в виде дерева с корнем, представляющим собой конечный результат.
- Каждый узел этого дерева называется **источником данных** или **методом доступа** .
- Объектами операций в методах доступа являются **потоки данных**. Каждый метод доступа либо формирует поток данных, либо трансформирует его по определенным правилам.
- Листовые узлы дерева называются **первичными методами доступа**. Их единственная задача – формирование потоков данных.

Источники данных

- Существует три класса источников данных:
  - первичный метод доступа – выполняет чтение из таблицы или хранимой процедуры
  - фильтр – трансформирует один входной поток данных в один выходной поток
  - слияние – преобразует два или более входных потоков данных в один выходной поток
- Источники данных могут быть конвейерными и буферизированными

Первичные методы доступа

- Создание потока данных на основе таблиц и процедур
  - Чтение таблиц
  - Индексный доступ
  - Выборка из процедуры

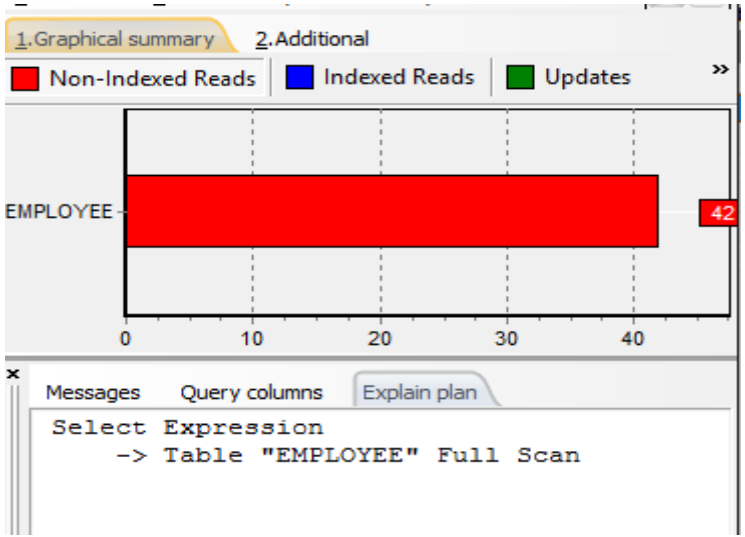
Чтение таблицы

- Полное сканирование (sequential scan)

```
select *
FROM employee;
```

Plan
PLAN (EMPLOYEE NATURAL)

Кардинальное число = 42
стоимость =42



Чтение таблицы

- Доступ через идентификатор записи

Физический номер записи содержит информацию о странице, на которой расположена данная запись, и о смещении внутри этой страницы

Стоимость данного вида доступа всегда равна единице. Чтения записей отражаются в статистике как индексированные.

```
Database: class.mmcs.sfedu.ru:/firebird/data/45/wh_new.fdb, User: PM4_5
SQL> select rdb$db_key from operation;

DB_KEY
================
8400000001000000
8400000002000000
8400000003000000
8400000004000000
8400000005000000
8400000006000000
8400000007000000
8400000008000000
8400000009000000
840000000A000000
840000000B000000
840000000C000000
840000000D000000
840000000E000000
840000000F000000

SQL>
```

DB_KEY
132:1
132:2
132:3
132:4
132:5
132:6
132:7
132:8
132:9
132:10
132:11
132:12
132:13

Чтение таблицы

- Позиционированный доступ

команды типа UPDATE и DELETE

(WHERE CURRENT OF <cursor name>)

Позиционированный доступ работает только для активного курсора, т.е. для уже прочитанной записи

Индексный доступ

- Индексный доступ (index scan/ index only scan)
  - Основным параметром, влияющим на оптимизацию индексного доступа, является ***селективность*** индекса
  - В расчетах кардинальности и стоимости предполагается равномерное распределение значений ключа в индексе

Индексный доступ

- Для кластерных индексов возможно использование чтения только индекса
- Если индекс не кластерный, требуется чтение и страниц индекса, и страниц данных
- В Firebird основан на битовых картах и учитывает версии
- В Firebird сканирование индекса - однонаправленное

Индексный доступ

- Стоимость доступа через битовую карту – суммарная стоимость индексного поиска для всех индексов, формирующих битовую карту
- Кардинальное число при пересечении битовых карт не больше минимального, при объединении – не меньше максимального

Индексный доступ

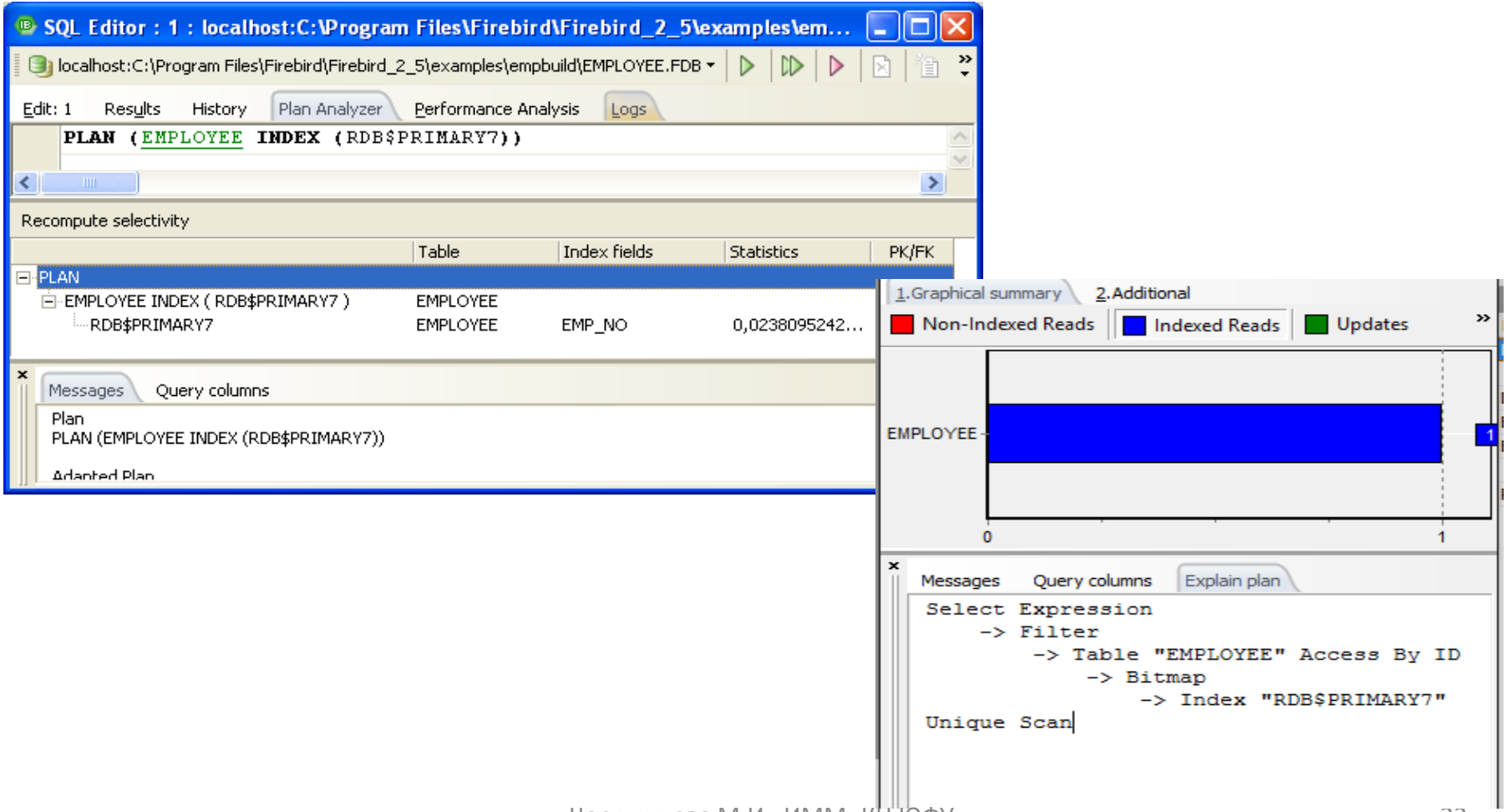
- При выборе индексов для сканирования оптимизатор использует стратегию на основе стоимости (cost based)
- Стоимость сканирования диапазона оценивается на основании селективности индекса, количества записей в таблице, среднего количества ключей на индексной странице и высоты B+ дерева.

Сканирование на равенство для уникального индекса (unique scan)

- select * from employee
  where emp_no=15

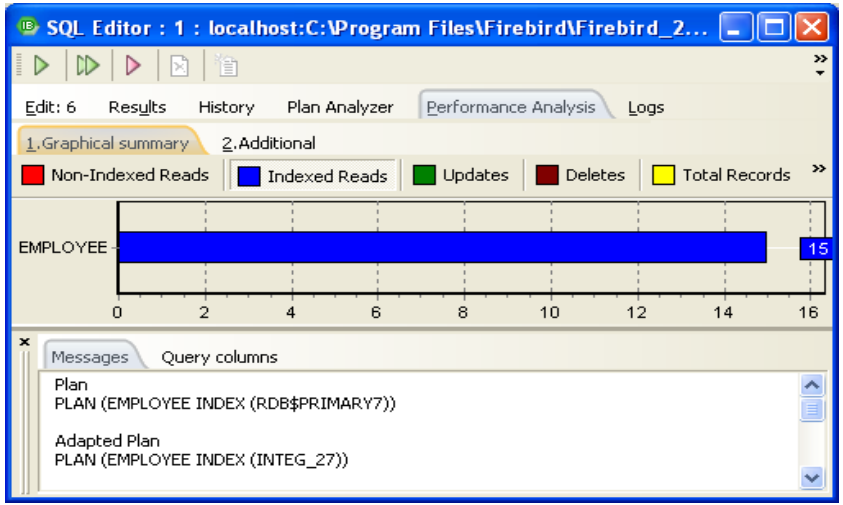
```
 Plan
PLAN (EMPLOYEE INDEX (RDB$PRIMARY7))

Select Expression
    -> Filter
        -> Table "EMPLOYEE" Access By ID
            -> Bitmap
                -> Index "RDB$PRIMARY7" Unique Scan
```


SQL Editor : 1 : localhost:C:\Program Files\Firebird\Firebird_2_5\examples\em...
localhost:C:\Program Files\Firebird\Firebird_2_5\examples\empbuild\EMPLOYEE.FDB
Edit: 1
Results
History
Plan Analyzer
Performance Analysis
Logs
PLAN (EMPLOYEE INDEX (RDB$PRIMARY7))
Recompute selectivity
Table
Index fields
Statistics
PK/FK
PLAN
EMPLOYEE INDEX (RDB$PRIMARY7)
EMPLOYEE
RDB$PRIMARY7
EMPLOYEE
EMP_NO
0,0238095242...
Messages
Query columns
Plan
PLAN (EMPLOYEE INDEX (RDB$PRIMARY7))
Adapted Plan
1.Graphical summary
2.Additional
Non-Indexed Reads
Indexed Reads
Updates
EMPLOYEE
1
0
1
Messages
Query columns
Explain plan
Select Expression
-> Filter
-> Table "EMPLOYEE" Access By ID
-> Bitmap
-> Index "RDB$PRIMARY7"
Unique Scan

Сканирование диапазона (range scan)

- select * from employee
  where emp_no between 100 and 300



Plan

PLAN (EMPLOYEE INDEX (RDB$PRIMARY7))

Select Expression

-> Filter

-> Table "EMPLOYEE" Access By ID

-> Bitmap

-> Index "RDB$PRIMARY7" Range Scan (lower bound: 1/1, upper bound: 1/1)

Кардинальное число =13

Полное сканирование (full scan)

```
 select * from employee
     where phone_ext=250
PLAN (EMPLOYEE NATURAL)

Select Expression
    -> Filter
        -> Table "EMPLOYEE" Full Scan
```

Наложение битовых карт

Тестовая таблица

```
CREATE TABLE PRIME2 (
   ID    INTEGER NOT NULL,
   IDX1  INTEGER,
   IDX2  INTEGER
);
ALTER TABLE PRIME2
            ADD CONSTRAINT PK_PRIME2 PRIMARY KEY (ID);

CREATE INDEX PRIME2_IDX1 ON PRIME2 (IDX1);
CREATE INDEX PRIME2_IDX2 ON PRIME2 (IDX2);
```

Наложение битовых карт

```
select * from prime2
                where idx1=14  AND  idx2=5

PLAN (PRIME2 INDEX (PRIME2_IDX1, PRIME2_IDX2))

STATEMENT (SELECT)
[cardinality=2, cost=9.000]
        => TABLE (PRIME2) ACCESS BY DB_KEY
           [cardinality=2, cost=9.000]
          => BITMAP AND
             [cardinality=2, cost=7.000]
            => INDEX (PRIME2_IDX1) RANGE SCAN
               [cardinality=5, cost=4.000]
            => INDEX (PRIME2_IDX2) RANGE SCAN
               [cardinality=2, cost=3.000]
```

Навигация по индексу

Используется тогда, когда индекс может помочь в упорядочении результата

```
select * from employee
order by emp_no
```

```
PLAN (EMPLOYEE ORDER
    RDB$PRIMARY7)
Select Expression
   -> Table "EMPLOYEE" Access By ID
      -> Index "RDB$PRIMARY7" Full Scan
```

```
select * from employee
order by emp_no desc
```

```
PLAN SORT (EMPLOYEE NATURAL)

Select Expression
   -> Sort (record length: 140, key length: 8)
      -> Table "EMPLOYEE" Full Scan
```

Процедурный доступ

- Используется при выборке из хранимых процедур, использующих предложение SUSPEND для возврата результата
  - Индексация результатов невозможна
  - Аналог полного сканирования таблицы

```
SELECT * FROM DEPT_BUDGET('100')

PLAN (DEPT_BUDGET NATURAL)
```

Фильтры

- Преобразователи данных
- Имеют только один вход
- Изменяют кардинальное число
- Для фильтров не оценивается кардинальность и стоимость

Проверка предикатов

- WHERE, HAVING, IN, ALL, ANY
- В плане выполнения проверка предикатов не отображается

Сортировка

- ORDER BY, GROUP BY, DISTINCT
- построение B+ дерева индексов
- подготовка данных для однопроходного слияния

Алгоритм сортировки представляет собой многоуровневую быструю сортировку

```
select * from employee
order by salary

PLAN SORT ((EMPLOYEE NATURAL))

Select Expression
    -> Sort (record length: 132, key length: 12)
        -> Table "EMPLOYEE" Full Scan
```

Методы слияния

- всегда оперируют с несколькими входными потоками
- обычным результатом их работы является либо расширение выборки по полям, либо увеличение ее кардинальности
- соединение (join)
- объединение (union)

Соединение (join)

- У любого вида соединений есть два входных потока - левый и правый.
- Для внутреннего и полного внешнего соединений эти потоки семантически равноценны.
- В случае одностороннего внешнего соединения один из потоков является ведущим (обязательным), а второй - ведомым (необязательным).

Соединение (join)

- У каждого соединения помимо входных потоков существует еще один атрибут - условие связи. Именно это условие и определяет результат, то есть как именно будут поставлены в соответствие данные входных потоков.
- При отсутствии данного условия получаем вырожденный случай - декартово произведение (cross join) входных потоков.

Правила выбора потока

- Для односторонних внешних соединений внешний (ведущий) поток всегда должен быть прочитан перед внутренним (ведомым), иначе невозможно будет выполнить требуемую стандартом подстановку NULL-значений в случае отсутствия соответствий внутреннего потока внешнему.

Правила выбора потока

- Для внутренних и полных внешних соединений входные потоки независимы и могут читаться в произвольном порядке, следовательно алгоритм выполнения таких соединений определяется исключительно оптимизатором и никак не зависит от текста запроса.

Методы слияния

- Рекурсивный перебор или соединение посредством вложенных циклов (nested loops join)
- Однопроходное слияние (merge join)
- Хеширование (hash join)

Рекурсивный перебор

```
select *
from department d left join employee e  on d.mngr_no=e.emp_no

PLAN JOIN (D NATURAL, E INDEX (RDB$PRIMARY7))
Select Expression
    -> Nested Loop Join (outer)
        -> Table "DEPARTMENT" as "D" Full Scan
        -> Filter
            -> Table "EMPLOYEE" as "E" Access By ID
                -> Bitmap
                    -> Index "RDB$PRIMARY7" Unique Scan
```

Рекурсивный перебор

```
select *
from department d
    join employee e   on
            d.mngr_no=e.emp_no
    join country  c    on
            c.country=e.job_country
```

```
PLAN JOIN (D NATURAL, E INDEX (RDB$PRIMARY7), C
    INDEX (RDB$PRIMARY1))
Select Expression
  -> Nested Loop Join (inner)
    -> Table "DEPARTMENT" as "D" Full Scan
    -> Filter
      -> Table "EMPLOYEE" as "E" Access By ID
        -> Bitmap
          -> Index "RDB$PRIMARY7" Unique Scan
    -> Filter
      -> Table "COUNTRY" as "C" Access By ID
        -> Bitmap
          -> Index "RDB$PRIMARY1" Unique Scan
```

Однопроходное слияние
Hash Join

- Оптимизатор выбирает данный алгоритм соединения в случае невозможности или неоптимальности использования рекурсивного алгоритма, то есть в первую очередь при отсутствии индексов по условию связи или их неприменимости, а также при отсутствии зависимости между входными потоками.
- При соединение методом HASH JOIN входные потоки всегда делятся на ведущий и ведомый, при этом ведущим обычно выбирается поток с наименьшей кардинальностью.
- Сначала меньший (ведущий) поток целиком вычитывается во внутренний буфер. В процессе чтения к каждому ключу связи применяется хеш-функция и пара {хеш, указатель в буфере} записывается в хеш-таблицу.

Hash join

- Затем читается ведомый поток и его ключ связи опробуется в хеш-таблице.
- Если соответствие найдено, то записи обоих потоков соединяются и выдаются на выход.
- В случае нескольких дубликатов данного ключа в ведомой таблице на выход будут выданы несколько записей.
- Если вхождения ключа в хеш-таблицу нет, переходим к следующей записи ведущего потока и так далее.

```
select *
from department d
        join employee e on d.mngr_no+0=e.emp_no+0


PLAN MERGE (SORT (E NATURAL), SORT (D NATURAL))

Select Expression
    -> Filter
        -> Hash Join (inner)
            -> Table "EMPLOYEE" as "E" Full Scan
            -> Record Buffer (record length: 105)
                -> Table "DEPARTMENT" as "D" Full Scan
```

Объединение (union)

- Существует два режима выполнения этой операции: ALL и DISTINCT.
- В первом случае реализация тривиальна: данный метод просто читает первый входной поток и выдает его на выход, по получении из него EOF начинает читать второй входной поток и так далее.

Объединение (union)

- В случае же DISTINCT требуется устранить полные дубликаты записей, присутствующие в результате объединения. Для этого на выходе метода объединения размещается фильтр сортировки, работающий в "усекающем" режиме по всем полям.

Объединение (union)

- Стоимость выполнения объединения равна суммарной стоимости всех входных потоков, кардинальность также получается суммированием.

```
select job_country
from employee
union
select country
from customer

PLAN (EMPLOYEE NATURAL)
PLAN (CUSTOMER NATURAL)

Select Expression
    -> Unique Sort (record length: 62, key
       length: 24)
        -> Union
            -> Table "EMPLOYEE" Full Scan
            -> Table "CUSTOMER" Full Scan
```

```
select job_country
from employee
union  all
select country
from customer

PLAN (EMPLOYEE NATURAL)
PLAN (CUSTOMER NATURAL)

Select Expression
    -> Union
        -> Table "EMPLOYEE" Full Scan
        -> Table "CUSTOMER" Full Scan
```

Включение плана в запрос

SELECT [DISTINCT | ALL]
[FIRST <record_number> }|SKIP <record_number>]
<select_list>
FROM <reference_expression_list>
[WHERE <search condition>]
[GROUP BY <group_value_list>]
[HAVING <group_condition>]
[PLAN <plan_item_list>]

PLAN ({ <stream_retrieval> |
<sorted_streams> |
<joined_streams> })

<stream_retrieval> ::= { <natural_scan> | <indexed_retrieval> |
<navigational_scan> }

<natural_scan> ::= <stream_alias> NATURAL

<indexed_retrieval> ::= <stream_alias> INDEX (<index_name> [,
<index_name> ...])

<navigational_scan> ::= <stream_alias> ORDER <index_name> [INDEX (
<index_name> [, <index_name> ...])]

<sorted_streams> ::= SORT (<stream_retrieval>)

<joined_streams> ::= JOIN (<stream_retrieval>, <stream_retrieval> [,
<stream_retrieval> ...]) | [SORT] MERGE (<sorted_streams>,
<sorted_streams>)