

# Блокировки Блокировки объектов



## Авторские права

© Postgres Professional, 2016–2022.

Авторы: Егор Рогов, Павел Лузанов, Илья Баштанов

## Использование материалов курса

Некоммерческое использование материалов курса (презентации, демонстрации) разрешается без ограничений. Коммерческое использование возможно только с письменного разрешения компании Postgres Professional. Запрещается внесение изменений в материалы курса.

## Обратная связь

Отзывы, замечания и предложения направляйте по адресу:  
[edu@postgrespro.ru](mailto:edu@postgrespro.ru)

## Отказ от ответственности

Компания Postgres Professional не несет никакой ответственности за любые повреждения и убытки, включая потерю дохода, нанесенные прямым или косвенным, специальным или случайным использованием материалов курса. Компания Postgres Professional не предоставляет каких-либо гарантий на материалы курса. Материалы курса предоставляются на основе принципа «как есть» и компания Postgres Professional не обязана предоставлять сопровождение, поддержку, обновления, расширения и изменения.

Общая информация о блокировках

Блокировки отношений и других объектов

Предикатные блокировки

Задача и механизм использования блокировок

Блокируемые ресурсы

Факторы, влияющие на эффективность

Время жизни блокировок

**Задача:** упорядочение конкурентного доступа к разделяемым ресурсам

## Механизм

перед обращением к данным процесс захватывает блокировку, после обращения — освобождает  
блокировки приводят к очередям

## Альтернативы

многоверсионность — несколько версий данных  
оптимистичные блокировки — процессы не блокируются, но при неудачном стечении обстоятельств возникает ошибка

Блокировки используются, чтобы упорядочить конкурентный доступ к разделяемым ресурсам.

Под конкурентным доступом понимается одновременный доступ нескольких процессов. Сами процессы могут выполняться как параллельно (если позволяет аппаратура), так и последовательно в режиме разделения времени.

Блокировки не нужны, если нет конкуренции (одновременно к данным обращается только один процесс) или если нет разделяемого ресурса (например, общий буферный кеш нуждается в блокировках, а локальный — нет).

Перед тем как обратиться к ресурсу, защищенному блокировкой, процесс должен захватить эту блокировку. После того как ресурс больше не нужен процессу, он освобождает блокировку, чтобы ресурсом могли воспользоваться другие процессы.

Захват блокировки возможен не всегда: ресурс может оказаться уже занятым кем-то другим. Тогда процесс либо встает в очередь ожидания, либо повторяет попытку захвата блокировки через определенное время. Так или иначе это приводит к тому, что процесс вынужден простаивать в ожидании освобождения блокировки.

Иногда удастся применить другие, неблокирующие, стратегии. Например, в одноименном модуле мы обсуждали механизм многоверсионности. Еще один пример — оптимистичные блокировки, которые не блокируют процесс, но в случае неудачи приводят к ошибке.

## Ресурс

все, что можно идентифицировать

## Примеры ресурсов

реальные хранимые объекты: страницы, таблицы, строки и т. п.

структуры данных в общей памяти (хеш-таблицы, буферы...)

абстрактные ресурсы (число)

Ресурсом, защищаемым блокировкой, в принципе может быть все, что угодно, лишь бы ресурс можно было однозначно идентифицировать.

Например, ресурсом может быть объект, с которым работает СУБД, такой как страница данных (идентифицируется именем файла и позицией внутри файла), таблица (oid в системном каталоге), версия строки (страница и позиция внутри страницы).

Ресурсом может быть структура в памяти, такая как хеш-таблица, буфер и т. п. (идентифицируется заранее присвоенным номером).

Иногда бывает удобно использовать даже абстрактные ресурсы, не имеющие никакого физического смысла (идентифицируются числом).

## Гранулярность блокировки

степень детализации, уровень в иерархии ресурсов

например: таблица → страница → строки, хеш-таблица → корзины

выше гранулярность — больше возможностей для параллелизма

## Режимы блокировок

совместимость режимов определяется матрицей

больше совместимых режимов — больше возможностей для параллелизма

На эффективность блокировок оказывает влияние много факторов, из которых мы выделим всего несколько.

**Гранулярность** (степень детализации) важна, если ресурсы образуют иерархию. Например, таблица состоит из страниц, которые содержат табличные строки. Все эти объекты могут выступать в качестве ресурсов. Если процесс заинтересован всего в нескольких строках, а блокировка устанавливается на уровне таблицы, другие процессы не смогут работать с остальными строками.

Поэтому чем выше гранулярность — тем больше возможностей для распараллеливания, но это приводит к увеличению числа блокировок (информацию о которых надо где-то хранить).

Блокировки могут захватываться в разных **режимах**. Имена режимов могут быть абсолютно произвольными, важна лишь матрица их совместимости друг с другом.

Режим, несовместимый ни с каким режимом, принято называть *исключительным* (exclusive). Если режимы совместимы, блокировка может захватываться несколькими процессами одновременно; такие режимы называют *разделяемыми* (shared).

В целом, чем больше можно найти режимов, совместимых друг с другом, тем больше возможностей для параллелизма.

## Долговременные блокировки

обычно захватываются до конца транзакции  
и относятся к хранимым данным  
большое число режимов  
развитая «тяжеловесная» инфраструктура, мониторинг

## Краткосрочные блокировки

обычно захватываются на доли секунды  
и относятся к структурам в оперативной памяти  
минимум режимов  
«легковесная» инфраструктура, мониторинг может отсутствовать

По времени использования блокировки можно разделить на длительные и короткие.

**Долговременные блокировки** захватываются на потенциально большое время (обычно до конца транзакции) и чаще всего относятся к таким ресурсам, как таблицы (отношения) и строки. Как правило, PostgreSQL управляет такими блокировками автоматически, но пользователь, тем не менее, имеет определенный контроль над этим процессом.

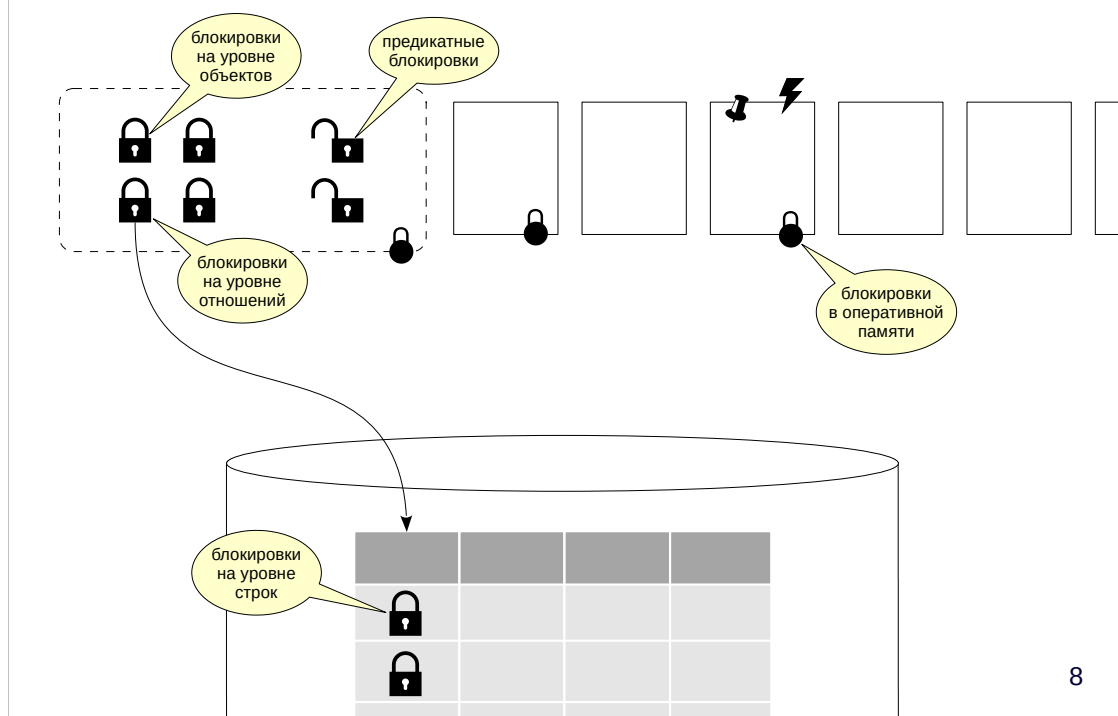
Для длительных блокировок характерно большое число режимов, чтобы допускать как можно больше одновременных действий над данными.

Обычно для долговременных блокировок имеется развитая инфраструктура (например, поддержка очередей и обнаружение взаимоблокировок) и средства мониторинга.

**Краткосрочные блокировки** захватываются на небольшое время (от нескольких тактов процессора до долей секунд) и обычно относятся к структурам данных в общей памяти. Такими блокировками PostgreSQL управляет полностью автоматически — об их существовании надо просто знать.

Для коротких блокировок характерны простые режимы (исключительный и разделяемый), простая инфраструктура. В ряде случаев средства мониторинга могут отсутствовать.

# Виды блокировок



В PostgreSQL используются разные виды блокировок.

**Блокировки на уровне объектов** относятся к длительным, «тяжеловесным». В качестве ресурсов здесь выступают **отношения** и другие объекты.

Еще один класс блокировок (оптимистических) — **предикатные**.

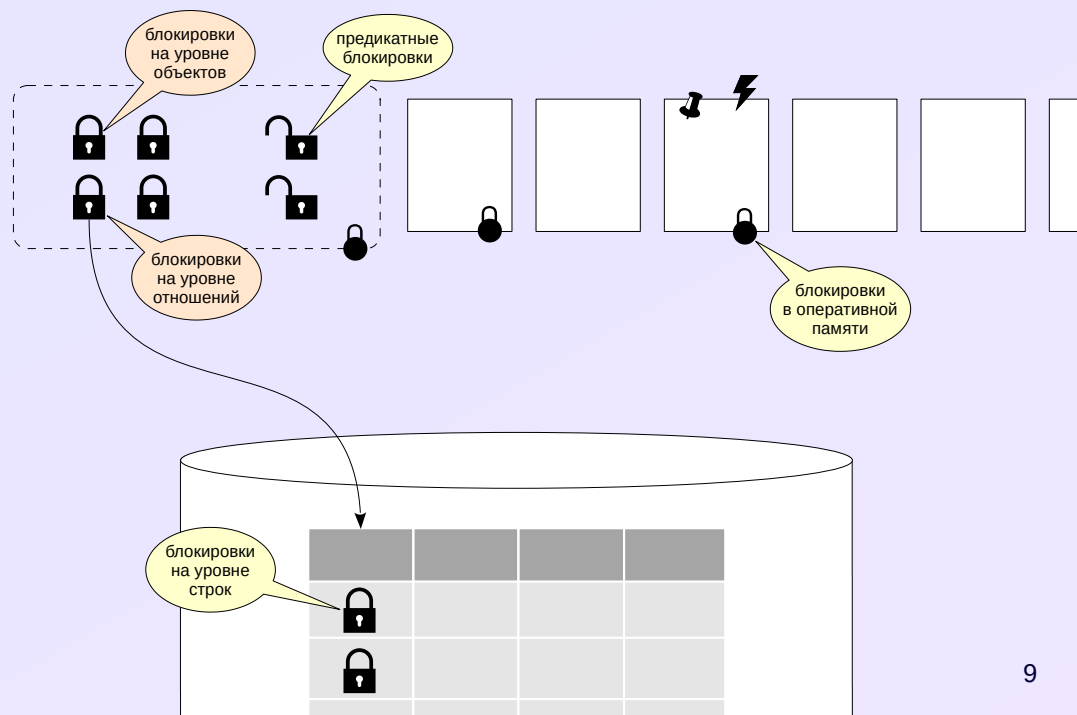
Информация о всех этих блокировках хранится однотипным образом в оперативной памяти. Эти виды блокировок подробно рассматриваются дальше в данной теме.

Среди длительных блокировок отдельно выделяются **блокировки на уровне строк**. Их реализация отличается от остальных длительных блокировок из-за потенциально огромного их количества (представьте обновление миллиона строк). Такие блокировки будут рассмотрены в теме «Блокировки строк».

К коротким блокировкам относятся различные блокировки структур оперативной памяти. Они рассматриваются в теме «**Блокировки в оперативной памяти**».




# Блокировки объектов



## Информация в общей памяти сервера

представление `pg_locks`:  
`locktype` — тип блокируемого ресурса,  
`mode` — режим блокировки

## Ограниченное количество

  $max\_locks\_per\_transaction \times max\_connections$

## Инфраструктура

очередь ожидания: ждущие процессы не потребляют ресурсы  
обнаружение взаимоблокировок

Начнем рассмотрение блокировок с блокировок уровня объектов, таких как таблицы, индексы, страницы, номера транзакций и др. Такие блокировки защищают объекты от одновременного изменения или использования в то время, когда объект изменяется, а также для других нужд.

Блокировки объектов располагаются в общей памяти сервера. Их количество ограничено произведением значений двух параметров: `max_locks_per_transaction` и `max_connections` (по умолчанию  $64 \times 100$ ). Пул блокировок — общий для всех транзакций, то есть одна транзакция может захватить больше блокировок, чем `max_locks_per_transaction`: важно лишь, чтобы общее число блокировок в системе не превысило установленный предел.

Все блокировки можно посмотреть в представлении `pg_locks`.

Если ресурс уже заблокирован в несовместимом режиме, транзакция, пытающаяся захватить этот ресурс, ставится в очередь и ожидает освобождения блокировки. Ожидающие транзакции не потребляют ресурсы процессора, они «засыпают» и пробуждаются только при освобождении ресурса. Ряд команд SQL позволяют указать ключевое слово `NOWAIT`: в этом случае попытка захватить занятый ресурс приводит не к ожиданию, а к ошибке.

Возможна ситуация взаимоблокировки (тупика), при которой две или более транзакций ждут друг друга. PostgreSQL автоматически определяет такие ситуации и аварийно прерывает бесконечное ожидание.

Тип ресурса: Relation

## Режимы

|                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| Access Share           | SELECT  | } допускают параллельное изменение данных в таблице |
| Row Share              | SELECT FOR UPDATE/SHARE   |   |
| Row Exclusive          | UPDATE, DELETE, INSERT  |   |
| Share Update Exclusive | VACUUM, ALTER TABLE, CREATE INDEX CONCURRENTLY                          |   |
| Share                  | CREATE INDEX  |   |
| Share Row Exclusive    | CREATE TRIGGER, ALTER TABLE   |   |
| Exclusive              | REFRESH MAT. VIEW CONCURRENTLY  |   |
| Access Exclusive       | DROP, TRUNCATE, VACUUM FULL, LOCK TABLE, ALTER TABLE, REFRESH MAT. VIEW |   |

11

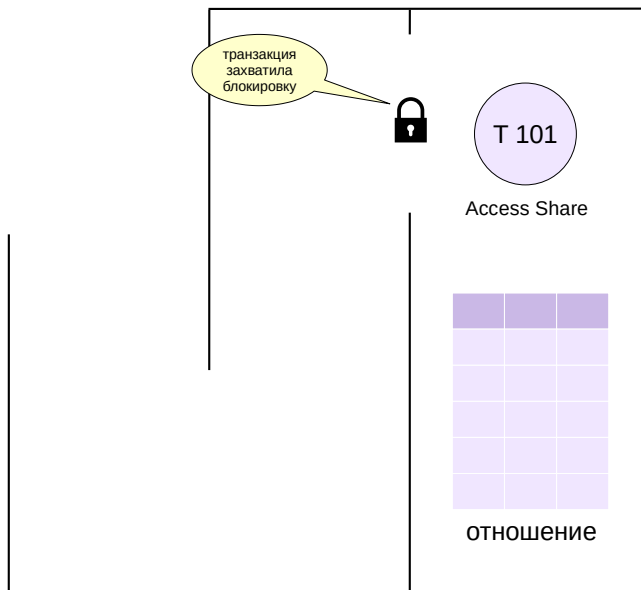
Важный частный случай блокировок — блокировки отношений (таблиц, индексов, последовательностей и т. п.). Такие блокировки имеют тип Relation в представлении pg\_locks.

Для них определено целых 8 различных режимов, которые показаны на слайде. Матрица совместимости, которая показывает, какие блокировки можно захватывать совместно, приведена в документации:

<https://postgrespro.ru/docs/postgresql/13/explicit-locking#LOCKING-TABLES>

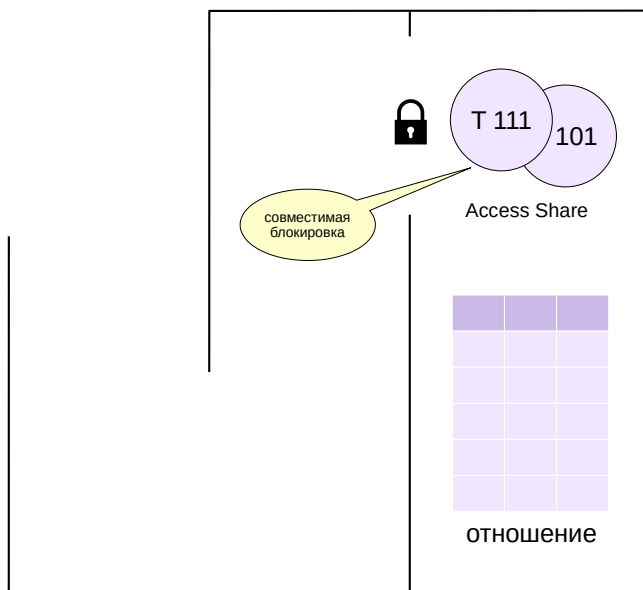
Такое количество режимов существует для того, чтобы как можно больше команд над одной и той же таблицей могло выполняться одновременно.

Как понять, к чему может привести выполнение какой-либо «административной» команды, например CREATE INDEX? Находим в документации, что эта команда устанавливает блокировку в режиме Share. По матрице определяем, что команда совместима сама с собой (можно одновременно создавать несколько индексов) и с читающими командами. Таким образом, команды SELECT продолжают работу, а команды UPDATE, DELETE, INSERT будут заблокированы. (Поэтому существует вариант команды — CREATE INDEX CONCURRENTLY — работающий дольше, но допускающий одновременное изменение данных.)

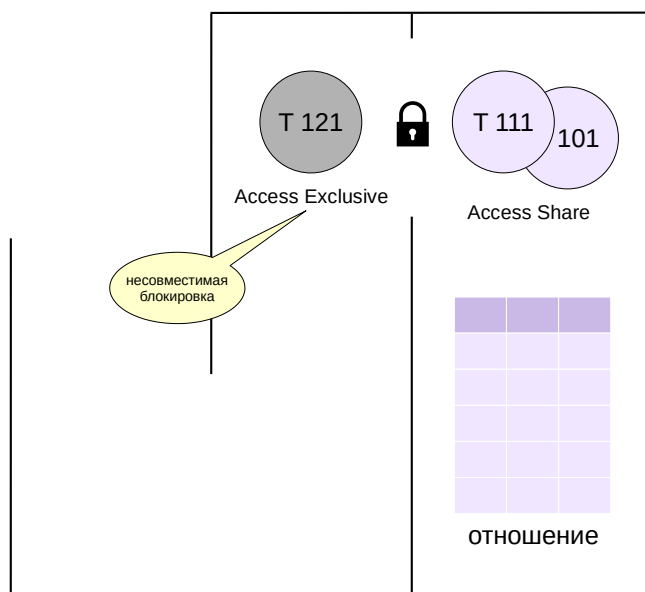


Чтобы лучше представить, к чему приводит появление несовместимой блокировки, можно посмотреть на приведенный пример.

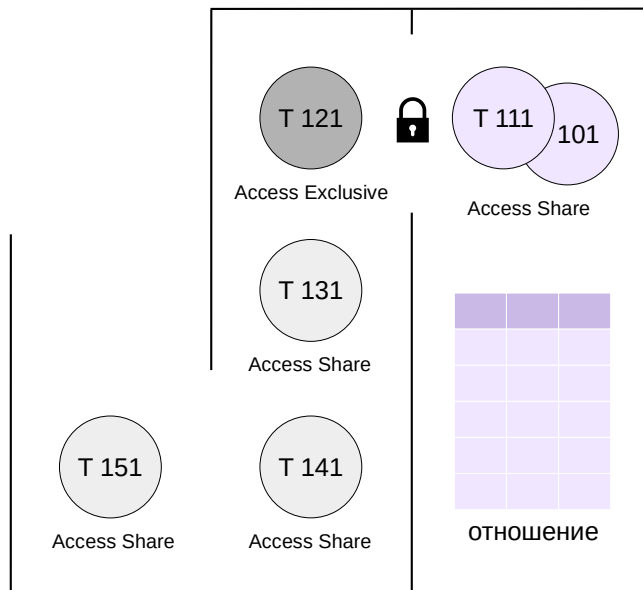
Вначале на таблице выполняется команда SELECT, которая запрашивает и получает блокировку уровня Access Share.



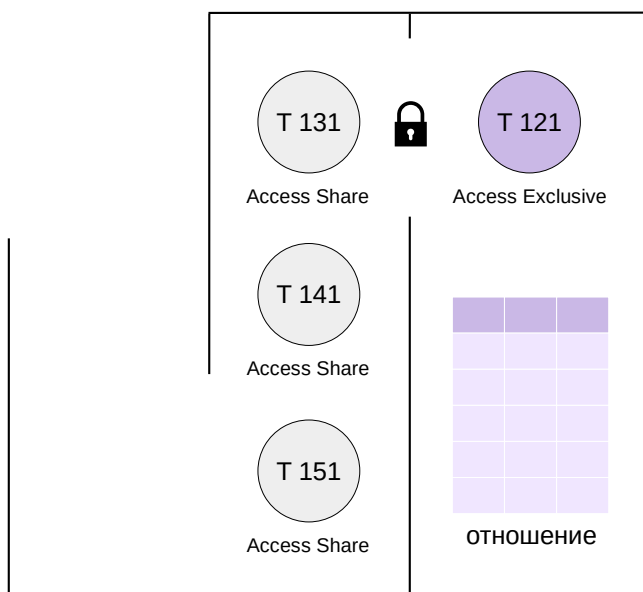
Затем еще одна команда `SELECT` запрашивает блокировку уровня Access Share и получает ее, так как запрошенная блокировка совместима с текущей.



Затем администратор выполняет команду `VACUUM FULL`, которой требуется блокировка уровня `Access Exclusive`, несовместимая с текущими `Access Share`. Транзакция встает в очередь.



Затем в системе появляются еще несколько команд SELECT. И, хотя какие-то из них теоретически могли бы «проскочить», пока VACUUM FULL ждет своей очереди, все они честно занимают место за VACUUM FULL.



После того как первые две транзакции с командами SELECT завершаются и освобождают блокировки, VACUUM FULL начинает выполняться.

И только когда VACUUM FULL завершит свою работу и снимет блокировку, все накопившиеся в очереди команды SELECT смогут захватить блокировку Access Share и начать выполняться.

Таким образом, неаккуратно выполненная команда может парализовать работу системы на время, значительно превышающее время выполнения самой команды.

Обратите внимание: исключительная блокировка может потребоваться также обычной очистке (и автоочистке), чтобы в конце своей работы выполнить усечение таблицы, то есть «откусить» пустой хвост файла данных и вернуть место операционной системе. Очистка не допускает ситуации долго ожидания, но в случае проблем этап усечения можно отключить параметром хранения *vacuum\_truncate* или вызывая очистку с указанием VACUUM (truncate off).



## Типы ресурсов

Extend — добавление страниц к файлу отношения  
Object — не-отношение: база данных, схема и т. п.  
Page — страница (используется некоторыми типами индексов)  
Tuple — версия строки  
Advisory — рекомендательная блокировка  
Transactionid — транзакция  
Virtualxid — виртуальная транзакция

## Режимы

исключительный  
разделяемый

Кроме блокировок отношений есть еще несколько типов блокировок. Все они захватываются либо только в исключительном режиме, либо в исключительном и разделяемом. К ним относятся:

- **Extend** при добавлении страниц к файлу какого-либо отношения;
- **Object** для блокирования объекта, который не является отношением (примеры таких объектов: база данных, схема, подписка и т. п.);
- **Page** для блокирования страницы (редкая блокировка, используется некоторыми типами индексов);
- **Tuple** используется в некоторых случаях для установки приоритета среди нескольких транзакций, ожидающих блокировку одной строки (подробнее см. тему «Блокировка строк» этого модуля);
- **Advisory** для рекомендательных блокировок (о них чуть позже).

Особый интерес представляют блокировки типа **Transactionid** и **Virtualxid**. Каждая транзакция сама удерживает исключительную блокировку своего собственного номера. Такие блокировки удобно использовать, когда какой-либо транзакции надо дождаться окончания другой транзакции. Подробнее это рассматривается в теме «Блокировки строк».

## Вывод сообщений в журнал сервера

параметр *log\_lock\_waits*:

выводит сообщение об ожидании дольше *deadlock\_timeout*

## Текущие блокировки

представление *pg\_locks*

функция *pg\_blocking\_pids*

Возникающие в системе блокировки необходимы для обеспечения целостности и изоляции, однако могут приводить к нежелательным ожиданиям. Такие ожидания можно отслеживать, чтобы разобраться в их причине и по возможности устранить (например, изменив алгоритм работы приложения).

Один способ состоит в том, чтобы включить параметр *log\_lock\_waits*. В этом случае в журнал сообщений сервера будет попадать информация, если транзакция ждала дольше, чем *deadlock\_timeout* (несмотря на то что используется параметр для взаимоблокировок, речь идет об обычных ожиданиях).

Второй способ состоит в том, чтобы в момент возникновения долгой блокировки (или на периодической основе) выполнять запрос к представлению *pg\_locks*, смотреть на блокируемые и блокирующие транзакции (функция *pg\_blocking\_pids*) и расшифровывать их при помощи *pg\_stat\_activity*.

## Блокировки отношений и других объектов

Создадим таблицу «банковских» счетов. В ней храним номер счета и сумму.

```
=> CREATE DATABASE locks_objects;
```

```
CREATE DATABASE
```

```
=> \c locks_objects
```

```
You are now connected to database "locks_objects" as user "student".
```

```
=> CREATE TABLE accounts(acc_no integer, amount numeric);
```

```
CREATE TABLE
```

```
=> INSERT INTO accounts VALUES (1,1000.00), (2,2000.00), (3,3000.00);
```

```
INSERT 0 3
```

Во втором сеансе начнем транзакцию. Нам понадобится номер обслуживающего процесса.

```
| => \c locks_objects
```

```
| You are now connected to database "locks_objects" as user "student".
```

```
| => SELECT pg_backend_pid();
```

```
| pg_backend_pid
| -----
|          19426
| (1 row)
```

```
| => BEGIN;
```

```
| BEGIN
```

Какие блокировки удерживает только что начавшаяся транзакция?

```
=> SELECT locktype, relation::regclass, virtualxid AS virtxid, transactionid AS xid, mode, granted
FROM pg_locks WHERE pid = 19426;
```

```
locktype | relation | virtxid | xid | mode | granted
-----+-----+-----+-----+-----+-----
virtualxid |          | 3/16   |     | ExclusiveLock | t
(1 row)
```

Только блокировку собственного виртуального номера.

Теперь обновим строку таблицы. Как изменится ситуация?

```
| => UPDATE accounts SET amount = amount + 100 WHERE acc_no = 1;
```

```
| UPDATE 1
```

```
=> SELECT locktype, relation::regclass, virtualxid AS virtxid, transactionid AS xid, mode, granted
FROM pg_locks WHERE pid = 19426;
```

```
locktype | relation | virtxid | xid | mode | granted
-----+-----+-----+-----+-----+-----
relation | accounts |          |     | RowExclusiveLock | t
virtualxid |          | 3/16   |     | ExclusiveLock | t
transactionid |          |          | 24455 | ExclusiveLock | t
(3 rows)
```

Добавилась блокировка отношения в режиме RowExclusiveLock (что соответствует команде UPDATE) и исключительная блокировка собственного номера (который появился, как только транзакция начала изменять данные).

Теперь попробуем в еще одном сеансе создать индекс по таблице.

```
|| => \c locks_objects
```

```
|| You are now connected to database "locks_objects" as user "student".
```

```
|| => SELECT pg_backend_pid();
```

```

pg_backend_pid
-----
19636
(1 row)

```

```

=> CREATE INDEX ON accounts(acc_no);

```

Команда не выполняется — ждет освобождения блокировки. Какой?

```

=> SELECT locktype, relation::regclass, virtualxid AS virtxid, transactionid AS xid, mode, granted
FROM pg_locks WHERE pid = 19636;

```

```

locktype | relation | virtxid | xid | mode | granted
-----+-----+-----+-----+-----+-----
virtualxid |          | 4/6    |     | ExclusiveLock | t
relation   | accounts |        |     | ShareLock     | f
(2 rows)

```

Видим, что транзакция пыталась получить блокировку таблицы в режиме ShareLock, но не смогла (granted = f).

Мы можем найти номер блокирующего процесса (в общем виде — несколько номеров)...

```

=> SELECT pg_blocking_pids(19636);

```

```

pg_blocking_pids
-----
{19426}
(1 row)

```

...и посмотреть информацию о сеансах, к которым они относятся:

```

=> SELECT * FROM pg_stat_activity
WHERE pid = ANY(pg_blocking_pids(19636)) \gx

```

```

-[ RECORD 1 ]-----+-----
datid          | 24930
datname        | locks_objects
pid            | 19426
leader_pid     |
usesysid       | 16384
username       | student
application_name | psql
client_addr    |
client_hostname |
client_port    | -1
backend_start  | 2024-01-16 10:54:54.442673+03
xact_start     | 2024-01-16 10:54:54.541244+03
query_start    | 2024-01-16 10:54:54.622992+03
state_change   | 2024-01-16 10:54:54.623772+03
wait_event_type | Client
wait_event     | ClientRead
state          | idle in transaction
backend_xid    | 24455
backend_xmin   |
query          | UPDATE accounts SET amount = amount + 100 WHERE acc_no = 1;
backend_type   | client backend

```

После завершения транзакции блокировки снимаются и индекс создается.

```

=> COMMIT;

```

```

COMMIT

```

```

CREATE INDEX

```

Устанавливаются приложением

Продолжительность

до конца сеанса

до конца транзакции

Режим

исключительный

разделяемый

Рекомендательные блокировки можно использовать, если нужна логика блокирования, которую неудобно реализовывать с помощью других, «обычных» блокировок. Рекомендательные блокировки устанавливаются только приложением; PostgreSQL никогда не делает этого автоматически.

Все функции, связанные с рекомендательными блокировками, начинаются с `pg_advisory`. Их имена могут содержать уточняющие ключевые слова.

Рекомендательная блокировка может быть установлена до конца сеанса (функция `pg_advisory_lock`) или до конца транзакции (`pg_advisory_xact_lock`). Обратите внимание, что сеансовые блокировки не освобождаются автоматически по окончании транзакции. При этом блокировки могут быть явно освобождены в любой момент функцией `pg_advisory_unlock`.

По умолчанию рекомендательные блокировки захватываются в исключительном режиме. Для использования разделяемого режима к имени функции добавляется слово `shared`, например, `pg_advisory_lock_shared` и `pg_advisory_unlock_shared`.

<https://postgrespro.ru/docs/postgresql/13/explicit-locking#ADVISORY-LOCKS>

## Рекомендательные блокировки

Начнем транзакцию.

```
| => BEGIN;
```

```
| BEGIN
```

Получим блокировку некого условного ресурса. В качестве идентификатора используется число; если ресурс имеет имя, удобно получить число с помощью функции хеширования:

```
| => SELECT hashtext('песыпс1');
```

```
| hashtext
|-----
| 243773337
| (1 row)
```

```
| => SELECT pg_advisory_lock(hashtext('песыпс1'));
```

```
| pg_advisory_lock
|-----
| (1 row)
```

Информация о рекомендательных блокировках доступна в pg\_locks:

```
=> SELECT locktype, objid, virtualxid AS virtxid, mode, granted
FROM pg_locks WHERE pid = 19426;
```

| locktype   | objid     | virtxid | mode          | granted |
|------------|-----------|---------|---------------|---------|
| virtualxid |           | 3/17    | ExclusiveLock | t       |
| advisory   | 243773337 |         | ExclusiveLock | t       |

(2 rows)

Если другой сеанс попытается захватить ту же блокировку, он будет ждать ее освобождения:

```
|| => SELECT pg_advisory_lock(hashtext('песыпс1'));
```

В приведенном примере блокировка действует до конца сеанса, а не транзакции, как обычно.

```
| => COMMIT;
```

```
| COMMIT
```

```
=> SELECT locktype, objid, virtualxid AS virtxid, mode, granted
FROM pg_locks WHERE pid = 19426;
```

| locktype | objid     | virtxid | mode          | granted |
|----------|-----------|---------|---------------|---------|
| advisory | 243773337 |         | ExclusiveLock | t       |

(1 row)

Захвативший блокировку сеанс может получить ее повторно, даже если есть очередь ожидания.

```
| => SELECT pg_advisory_lock(hashtext('песыпс1'));
```

```
| pg_advisory_lock
|-----
| (1 row)
```

Блокировку можно явно освободить:

```
| => SELECT pg_advisory_unlock(hashtext('песыпс1'));
```

```
| pg_advisory_unlock
|-----
| t
| (1 row)
```

Но в нашем примере блокировка была получена сеансом дважды, поэтому придется освободить ее еще раз:

=> SELECT locktype, objid, virtualxid AS virtxid, mode, granted

FROM pg\_locks WHERE pid = 19426;

| locktype | objid     | virtxid | mode          | granted |
|----------|-----------|---------|---------------|---------|
| advisory | 243773337 |         | ExclusiveLock | t       |

(1 row)

=> SELECT pg\_advisory\_unlock(hashtext('pecypc1'));

| pg_advisory_unlock |
|--------------------|
| t                  |

(1 row)

| pg_advisory_lock |
|------------------|
|                  |

(1 row)

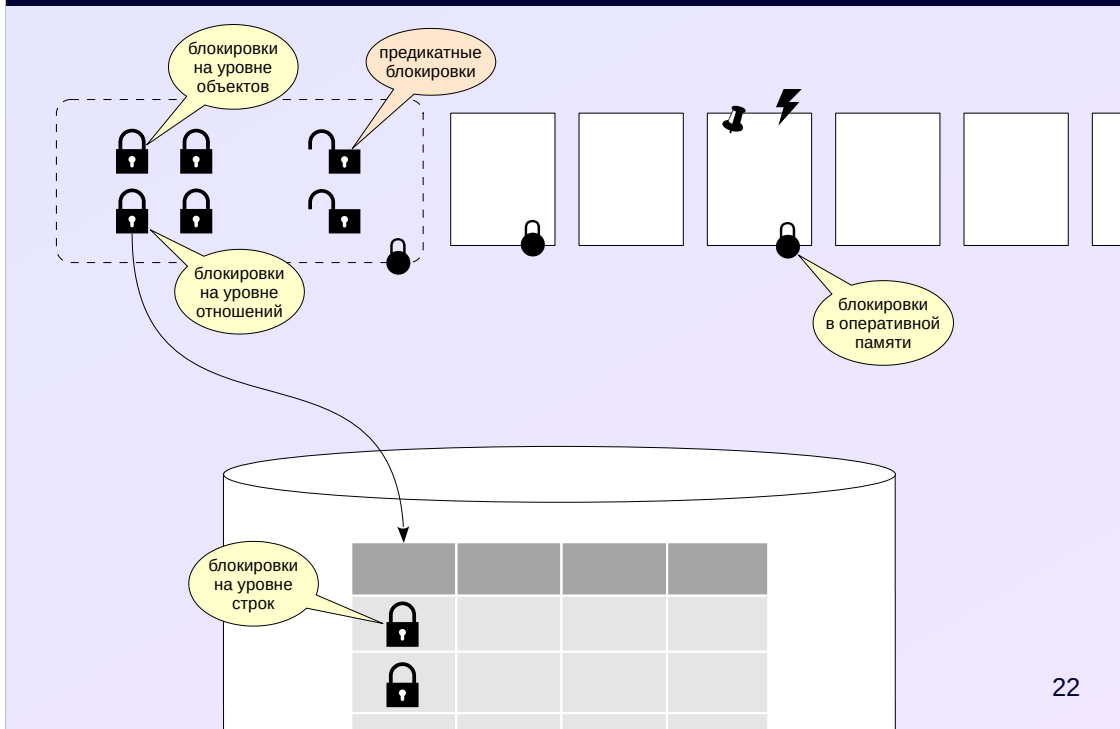
Существуют другие варианты функций для получения рекомендательных блокировок до конца транзакции, для получения разделяемых блокировок и т. п. Вот их полный список:

=> \df pg\_advisory\*

| List of functions |                              |                  |                     |      |
|-------------------|------------------------------|------------------|---------------------|------|
| Schema            | Name                         | Result data type | Argument data types | Type |
| pg_catalog        | pg_advisory_lock             | void             | bigint              | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_lock             | void             | integer, integer    | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_lock_shared      | void             | bigint              | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_lock_shared      | void             | integer, integer    | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_unlock           | boolean          | bigint              | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_unlock           | boolean          | integer, integer    | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_unlock_all       | void             |                     | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_unlock_shared    | boolean          | bigint              | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_unlock_shared    | boolean          | integer, integer    | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_xact_lock        | void             | bigint              | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_xact_lock        | void             | integer, integer    | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_xact_lock_shared | void             | bigint              | func |
| pg_catalog        | pg_advisory_xact_lock_shared | void             | integer, integer    | func |

(13 rows)

# Предикатные блокировки





## Задача: реализация уровня изоляции Serializable

используются в дополнение к обычной изоляции на снимках данных  
оптимистичные блокировки, название сложилось исторически

## Информация в общей памяти сервера

представление pg\_locks

## Ограниченное количество

  $max\_pred\_locks\_per\_transaction \times max\_connections$

Термин *предикатная блокировка* появился давно, еще при первых попытках реализовать полную изоляцию (Serializable) на основе блокировок в ранних СУБД. Идея состояла в том, что блокировать надо не только определенные строки, но и предикаты. Например, при выполнении запроса с условием  $a > 10$  надо заблокировать диапазон  $a > 10$ , чтобы избежать появления фантомных строк и других аномалий.

В PostgreSQL уровень Serializable реализован поверх существующего механизма снимков данных, но термин остался. Фактически такие «блокировки» ничего не блокируют, а используются для отслеживания зависимостей транзакций по данным.

Как и для обычных блокировок, информация о предикатных блокировках отображается в представлении pg\_locks со специальным режимом SIReadLock.

Число предикатных блокировок ограничено произведением параметров *max\_pred\_locks\_per\_transaction* и *max\_connections* ( $= 64 \times 100$ ).

Именно с использованием предикатных блокировок связано ограничение, что для достижения полной изоляции все транзакции должны работать на уровне Serializable. Отслеживание зависимостей будет работать только для транзакций, которые устанавливают предикатные блокировки.

<https://postgrespro.ru/docs/postgresql/13/transaction-iso#XACT-SERIALIZABLE>

<https://wiki.postgresql.org/wiki/SSI>

[https://github.com/postgres/postgres/blob/REL\\_13\\_STABLE/src/backend/storage/lmgr/README-SSI](https://github.com/postgres/postgres/blob/REL_13_STABLE/src/backend/storage/lmgr/README-SSI)

## Типы ресурсов

Relation — отношение  $\rightarrow max\_pred\_locks\_per\_relation$   
Page — страница  $\rightarrow max\_pred\_locks\_per\_page$   
Tuple — версия строки

повышение  
уровня

## Режим

SIRead

Предикатные блокировки захватываются на трех уровнях.

При полном сканировании таблицы блокировка устанавливается **на уровне всей таблицы**.

При индексном сканировании устанавливаются блокировки тех **страниц индекса**, которые соответствуют условию доступа (предикату). Кроме того, устанавливаются блокировки на уровне **отдельных табличных версий строк** (это не то же самое, что блокировки строк, которые рассматриваются в одноименной теме).

Все предикатные блокировки устанавливаются в одном специальном режиме: SIRead (Serializable Isolation Read).

При увеличении количества предикатных блокировок происходит автоматическое повышение уровня (эскалация): вместо нескольких мелких блокировок захватывается одна более высокого уровня.

Если число блокировок версий строк одной страницы превышает значение параметра *max\_pred\_locks\_per\_page* (2 по умолчанию), вместо них захватывается одна блокировка уровня страницы.

Если число блокировок страниц или версий одной таблицы (индекса) превышает значение параметра *max\_pred\_locks\_per\_relation*, вместо них захватывается одна блокировка на все отношение. По умолчанию параметр равен -2; для отрицательных чисел значение вычисляется как  $max\_pred\_locks\_per\_transaction / abs(max\_pred\_locks\_per\_relation)$ .

Повышение уровня блокировок приводит к тому, что большее число транзакций ложно завершается ошибкой сериализации и пропускная способность системы падает.

## Предикатные блокировки

Начнем транзакцию с уровнем Serializable и прочитаем одну строку таблицы последовательным сканированием.

```
=> BEGIN ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE;

BEGIN

=> EXPLAIN (analyze, costs off, timing off) SELECT * FROM accounts LIMIT 1;

               QUERY PLAN
-----
 Limit (actual rows=1 loops=1)
   -> Seq Scan on accounts (actual rows=1 loops=1)
    Planning Time: 0.135 ms
    Execution Time: 0.031 ms
 (4 rows)
```

Посмотрим на блокировки:

```
=> SELECT locktype, relation::regclass, page, tuple, virtualxid AS virtxid, transactionid AS xid, mode, granted
FROM pg_locks WHERE pid = 19426;
```

| locktype   | relation            | page | tuple | virtxid | xid | mode            | granted |
|------------|---------------------|------|-------|---------|-----|-----------------|---------|
| relation   | accounts_acc_no_idx |      |       |         |     | AccessShareLock | t       |
| relation   | accounts            |      |       |         |     | AccessShareLock | t       |
| virtualxid |                     |      |       | 3/21    |     | ExclusiveLock   | t       |
| relation   | accounts            |      |       |         |     | SIReadLock      | t       |

(4 rows)

Появилась предикатная блокировка всей таблицы accounts (несмотря на то что читается одна строка).

```
=> COMMIT;

COMMIT
```

Теперь прочитаем одну строку таблицы, используя индекс:

```
=> BEGIN ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE;

BEGIN

=> SET enable_seqscan = off;

SET

=> EXPLAIN (analyze, costs off, timing off) SELECT * FROM accounts WHERE acc_no = 1;

               QUERY PLAN
-----
 Index Scan using accounts_acc_no_idx on accounts (actual rows=1 loops=1)
   Index Cond: (acc_no = 1)
    Planning Time: 0.069 ms
    Execution Time: 0.065 ms
 (4 rows)
```

Блокировки:

```
=> SELECT locktype, relation::regclass, page, tuple, virtualxid AS virtxid, transactionid AS xid, mode, granted
FROM pg_locks WHERE pid = 19426;
```

| locktype   | relation            | page | tuple | virtxid | xid | mode            | granted |
|------------|---------------------|------|-------|---------|-----|-----------------|---------|
| relation   | accounts_acc_no_idx |      |       |         |     | AccessShareLock | t       |
| relation   | accounts            |      |       |         |     | AccessShareLock | t       |
| virtualxid |                     |      |       | 3/22    |     | ExclusiveLock   | t       |
| page       | accounts_acc_no_idx | 1    |       |         |     | SIReadLock      | t       |
| tuple      | accounts            | 0    | 4     |         |     | SIReadLock      | t       |

(5 rows)

При индексном сканировании устанавливаются мелкогранулярные предикатные блокировки:

- блокировки прочитанных страниц индекса;
- блокировки прочитанных версий строк.

```
| => COMMIT;
```

```
| COMMIT
```

Блокировки отношений и других объектов БД используются для организации конкурентного доступа к общим ресурсам

- поддерживаются очереди и обнаружение взаимоблокировок
- рекомендательные блокировки для ресурсов, не связанных с хранимыми объектами

Предикатные блокировки используются для реализации уровня изоляции Serializable

- ничего не блокируют, отслеживают зависимости транзакций по данным

1. Какие блокировки на уровне изоляции Read Committed удерживает транзакция, прочитавшая одну строку таблицы по первичному ключу? Проверьте на практике.
2. Воспроизведите автоматическое повышение уровня предикатных блокировок при чтении строк таблицы по индексу. Покажите, что при этом возможна ложная ошибка сериализации.
3. Настройте сервер так, чтобы в журнал сообщений сбрасывалась информация о блокировках, удерживаемых более 100 миллисекунд. Воспроизведите ситуацию, при которой в журнале появятся такие сообщения.

2. В каждой из двух транзакций прочитайте две строки таблицы, используя индекс, и измените одну из прочитанных строк. Такие транзакции сериализуются. Задайте `max_pred_locks_per_relation = 2` и повторите опыт.

## 0. Подготовка

Создадим таблицу как в демонстрации; номер счета будет первичным ключом.

```
=> CREATE DATABASE locks_objects;
```

```
CREATE DATABASE
```

```
=> \c locks_objects
```

```
You are now connected to database "locks_objects" as user "student".
```

```
=> CREATE TABLE accounts(acc_no integer PRIMARY KEY, amount numeric);
```

```
CREATE TABLE
```

```
=> INSERT INTO accounts VALUES (1,1000.00),(2,2000.00),(3,3000.00);
```

```
INSERT 0 3
```

Нам понадобятся два дополнительных сеанса.

```
| => \c locks_objects
```

```
| You are now connected to database "locks_objects" as user "student".
```

```
|| => \c locks_objects
```

```
|| You are now connected to database "locks_objects" as user "student".
```

## 1. Блокировки читающей транзакции, Read Committed

Начинаем транзакцию и читаем одну строку.

```
| => SELECT pg_backend_pid();
```

```
| pg_backend_pid  
|-----  
|          45706  
| (1 row)
```

```
| => BEGIN;
```

```
| BEGIN
```

```
| => SELECT * FROM accounts WHERE acc_no = 1;
```

```
| acc_no | amount  
|-----+-----  
|      1 | 1000.00  
| (1 row)
```

Блокировки:

```
=> SELECT locktype, relation::regclass, virtualxid AS virtxid, transactionid AS xid, mode, granted  
FROM pg_locks WHERE pid = 45706;
```

| locktype   | relation      | virtualxid | xid | mode            | granted |
|------------|---------------|------------|-----|-----------------|---------|
| relation   | accounts_pkey |            |     | AccessShareLock | t       |
| relation   | accounts      |            |     | AccessShareLock | t       |
| virtualxid |               | 3/17       |     | ExclusiveLock   | t       |

(3 rows)

Здесь мы видим:

- Блокировку таблицы accounts в режиме AccessShareLock;
- Блокировку индекса accounts\_pkey, созданного для первичного ключа, в том же режиме;
- Исключительную блокировку собственного номера виртуальной транзакции.

Если смотреть блокировки в самой транзакции, к ним добавится блокировка на таблицу pg\_locks:

```
=> SELECT locktype, relation::regclass, virtualxid AS virtxid, transactionid AS xid, mode, granted  
FROM pg_locks WHERE pid = 45706;
```

| locktype   | relation      | virtualxid | xid | mode            | granted |
|------------|---------------|------------|-----|-----------------|---------|
| relation   | pg_locks      |            |     | AccessShareLock | t       |
| relation   | accounts_pkey |            |     | AccessShareLock | t       |
| relation   | accounts      |            |     | AccessShareLock | t       |
| virtualxid |               | 3/17       |     | ExclusiveLock   | t       |

(4 rows)

```
| => COMMIT;
```

```
| COMMIT
```

## 2. Повышение уровня предикатных блокировок

В двух сеансах начинаем транзакции с уровнем Serializable.

```
| => BEGIN ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE;
```

```
| BEGIN
```

```
|| => BEGIN ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE;
```

```
|| BEGIN
```

В первой читаем строки счетов 1 и 3, во второй – строки счетов 2 и 3.

```
=> SELECT * FROM accounts WHERE acc_no IN (1,3);

 acc_no | amount 
-----+-----
      1 | 1000.00
      3 | 3000.00
(2 rows)

=> SELECT * FROM accounts WHERE acc_no IN (2,3);

 acc_no | amount 
-----+-----
      2 | 2000.00
      3 | 3000.00
(2 rows)
```

Блокируются страница индекса и отдельные версии строк:

```
=> SELECT pid, locktype, relation::regclass, page, tuple, mode, granted
FROM pg_locks
WHERE mode = 'SIReadLock'
ORDER BY 1,2,3,4,5;
```

| pid   | locktype | relation      | page | tuple | mode       | granted |
|-------|----------|---------------|------|-------|------------|---------|
| 45706 | page     | accounts_pkey | 1    |       | SIReadLock | t       |
| 45706 | tuple    | accounts      | 0    | 1     | SIReadLock | t       |
| 45706 | tuple    | accounts      | 0    | 3     | SIReadLock | t       |
| 45745 | page     | accounts_pkey | 1    |       | SIReadLock | t       |
| 45745 | tuple    | accounts      | 0    | 2     | SIReadLock | t       |
| 45745 | tuple    | accounts      | 0    | 3     | SIReadLock | t       |

(6 rows)

Изменим в первом сеансе остаток первого счета, во втором – второго.

```
=> UPDATE accounts SET amount = amount + 10 WHERE acc_no = 1;

UPDATE 1

=> UPDATE accounts SET amount = amount + 10 WHERE acc_no = 2;

UPDATE 1
```

Транзакции сериализуются:

```
=> COMMIT;

COMMIT

=> COMMIT;

COMMIT
```

Теперь настроим повышение уровня так, чтобы при блокировке двух версий строк блокировалась вся таблица.

```
=> ALTER SYSTEM SET max_pred_locks_per_relation = 1;
```

ALTER SYSTEM

```
student$ sudo pg_ctlcluster 13 main reload
```

Повторяем опыт.

```
=> BEGIN ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE;

BEGIN

=> BEGIN ISOLATION LEVEL SERIALIZABLE;

BEGIN

=> SELECT * FROM accounts WHERE acc_no IN (1,3);

 acc_no | amount 
-----+-----
      1 | 1010.00
      3 | 3000.00
(2 rows)

=> SELECT * FROM accounts WHERE acc_no IN (2,3);

 acc_no | amount 
-----+-----
      2 | 2010.00
      3 | 3000.00
(2 rows)
```

Теперь каждая транзакция блокирует всю таблицу:

```
=> SELECT pid, locktype, relation::regclass, page, tuple, mode, granted
FROM pg_locks
WHERE mode = 'SIReadLock'
ORDER BY 1,2,3,4,5;
```

| pid   | locktype | relation      | page | tuple | mode       | granted |
|-------|----------|---------------|------|-------|------------|---------|
| 45706 | page     | accounts_pkey | 1    |       | SIReadLock | t       |
| 45706 | relation | accounts      |      |       | SIReadLock | t       |
| 45745 | page     | accounts_pkey | 1    |       | SIReadLock | t       |
| 45745 | relation | accounts      |      |       | SIReadLock | t       |

(4 rows)



Изменяем остатки...

```
| => UPDATE accounts SET amount = amount + 10 WHERE acc_no = 1;
|
| UPDATE 1
||
|| => UPDATE accounts SET amount = amount + 10 WHERE acc_no = 2;
||
|| UPDATE 1
...и фиксируем транзакции.
|
| => COMMIT;
|
| COMMIT
||
|| => COMMIT;
||
|| ERROR:  could not serialize access due to read/write dependencies among transactions
||         DETAIL:  Reason code: Canceled on identification as a pivot, during commit attempt.
||         HINT:   The transaction might succeed if retried.
```

Из-за повышения уровня блокировок сериализация невозможна.

### 3. Вывод в журнал информации о блокировках

Требуется изменить параметры:

```
=> ALTER SYSTEM SET log_lock_waits = on;
ALTER SYSTEM
=> ALTER SYSTEM SET deadlock_timeout = '100ms';
ALTER SYSTEM
=> SELECT pg_reload_conf();
pg_reload_conf
-----
t
(1 row)
```

Воспроизведем блокировку.

```
=> BEGIN;
BEGIN
=> UPDATE accounts SET amount = 10.00 WHERE acc_no = 1;
UPDATE 1
|
| => BEGIN;
|
| BEGIN
|
| => UPDATE accounts SET amount = 100.00 WHERE acc_no = 1;
```

В первом сеансе выполним задержку и после этого завершим транзакцию.

```
=> SELECT pg_sleep(1);
pg_sleep
-----
(1 row)
```

```
=> COMMIT;
COMMIT
|
| UPDATE 1
|
| => COMMIT;
|
| COMMIT
```

Вот что попало в журнал:

```
postgres$ tail -n 7 /var/log/postgresql/postgresql-13-main.log
```

```
2024-01-16 11:20:45.273 MSK [45706] student@locks_objects LOG:  process 45706 still waiting for ShareLock on transaction 159533 after 100.150 ms
2024-01-16 11:20:45.273 MSK [45706] student@locks_objects DETAIL:  Process holding the lock: 45626. Wait queue: 45706.
2024-01-16 11:20:45.273 MSK [45706] student@locks_objects CONTEXT:  while updating tuple (0,6) in relation "accounts"
2024-01-16 11:20:45.273 MSK [45706] student@locks_objects STATEMENT:  UPDATE accounts SET amount = 100.00 WHERE acc_no = 1;
2024-01-16 11:20:46.285 MSK [45706] student@locks_objects LOG:  process 45706 acquired ShareLock on transaction 159533 after 1112.609 ms
2024-01-16 11:20:46.285 MSK [45706] student@locks_objects CONTEXT:  while updating tuple (0,6) in relation "accounts"
2024-01-16 11:20:46.285 MSK [45706] student@locks_objects STATEMENT:  UPDATE accounts SET amount = 100.00 WHERE acc_no = 1;
```