

Архитектура Очистка

Postgres PROFESSIONAL

16

Авторские права

© Postgres Professional, 2017–2024

Авторы: Егор Рогов, Павел Лузанов, Илья Баштанов, Алексей Береснев

Фото: Олег Бартунов (монастырь Пху и пик Бхрикути, Непал)

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

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.

Задачи, требующие периодического выполнения

Автоочистка

Очистка и анализ вручную

Разрастание таблиц и индексов

Полная очистка и перестроение индексов

Очистка страниц от исторических данных,
которые образуются из-за многоверсионности

из таблиц вычищаются мертвые версии строк

из индексов вычищаются записи, ссылающиеся на мертвые версии

Механизм многоверсионности позволяет эффективно реализовать изоляцию на основе снимков, но в результате в табличных страницах накапливаются старые версии строк, а в страницах индексов — ссылки на эти версии. Какое-то время исторические версии нужны, чтобы транзакции могли работать со своими снимками данных. Но со временем не остается ни одного снимка данных, которому требовалась бы старая версия строки; такая версия называется «мертвой».

Процедура очистки вычищает мертвые версии строк из табличных страниц и ненужные индексные записи, которые ссылались на такие версии.

Если своевременно не вычищать исторические данные, таблицы и индексы будут неконтролируемо разрастаться и поиск в них актуальных версий строк будет замедляться.

<https://postgrespro.ru/docs/postgresql/16/routine-vacuuming>

Обновление карты видимости

отмечает страницы, на которых все версии строк видны во всех снимках
используется для оптимизации работы процесса очистки
и ускорения индексного доступа
существует только для таблиц

4

Кроме этой главной задачи, процедура очистки берет на себя и другие задачи по поддержанию работоспособности экземпляра. Очистка обновляет карту видимости и карту свободного пространства. Это служебная информация, которая хранится вместе с основными данными.

В карте видимости отмечены страницы, которые содержат только актуальные версии строк, причем эти версии видны во всех снимках данных. Такие страницы давно не изменялись и успели полностью очиститься от неактуальных версий.

Карта видимости применяется:

- Для оптимизации очистки.
В отмеченные страницы очистке не надо заглядывать — в них не может быть мертвых версий.
- Для ускорения доступа только по индексу.
Информация о версии хранится только для таблиц, но не для индексов (поэтому у индексов не бывает карты видимости). Получив из индекса ссылку на версию строки, нужно прочитать табличную страницу, чтобы проверить ее видимость. Но если в самом индексе уже есть все нужные столбцы, и при этом страница отмечена в карте видимости, то обращения к таблице можно избежать.

Если не обновлять карту видимости, индексный доступ будет работать менее эффективно. Более подробно об этом рассказывается в курсе QRT «Оптимизация запросов».

Обновление карты свободного пространства

отмечает свободное пространство в страницах после очистки
используется при вставке новых версий строк
существует и для таблиц, и для индексов

В карте свободного пространства отмечен объем пустого места внутри страниц. Этот объем постоянно меняется: при добавлении новых версий строк он уменьшается, при очистке — увеличивается.

Карта используется при вставке новых версий строк, чтобы быстро найти подходящую страницу, на которую поместятся добавляемые данные. Для ускорения поиска карта свободного пространства имеет сложную древовидную структуру.

Карта свободного пространства может существовать и для индексов. Но, поскольку индексная запись вставляется в строго определенное место индекса, в карте отмечаются только пустые страницы, образовавшиеся при удалении из них всех записей. Такие страницы исключаются из индексной структуры и при необходимости подключаются затем в подходящее место индекса.

Обновление статистики

используется оптимизатором запросов
вычисляется на основе случайной выборки

6

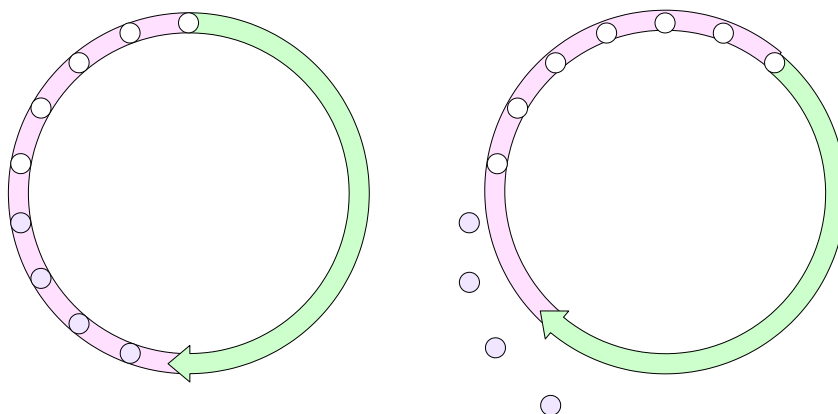
Для работы оптимизатора запросов необходима статистическая информация («статистика») о данных, такая как количество строк в таблицах и распределение данных в столбцах. Сбор статистики называется анализом.

Для анализа из таблицы читается случайная выборка данных определенного размера. Это позволяет быстро собрать информацию даже по очень большим таблицам. Результат получается не точный, но этого и не требуется. В любом случае данные все время изменяются и постоянно поддерживать абсолютно точную статистику невозможно. Достаточно, чтобы она периодически обновлялась и не слишком сильно отличалась от действительности.

Если не обновлять статистику, она перестанет соответствовать реальным данным и оптимизатор станет строить плохие планы выполнения. Из-за этого запросы могут начать выполняться на порядки медленнее, чем могли бы.

Заморозка

предотвращение последствий переполнения 32-битного счетчика транзакций



7

Как уже говорилось, PostgreSQL упорядочивает события с помощью номеров транзакций. Под счетчик отведено 32 бита и рано или поздно он переполнится.

Чтобы многоверсионность продолжила работать, пространство номеров закольцовано: для любой транзакции половина номеров против часовой стрелки находится в прошлом, а другая половина — в будущем.

Но если счетчик перейдет через ноль, упорядоченность транзакций нарушится, если не принять специальных мер. Достаточно старые версии строк помечаются как «замороженные». Такой признак говорит о том, что версия строки появилась так давно, что номер создавшей ее транзакции больше не имеет значения и его можно использовать повторно. Замороженные версии строк видны во всех снимках всех транзакций.

Чтобы при заморозке не просматривать лишние страницы, в карту видимости добавлен бит, отмечающий страницы, на которых все версии строк уже заморожены.

Если не выполнять заморозку своевременно, сервер не сможет выделить очередной номер транзакции. Это аварийная ситуация: сервер остановится, все незавершенные транзакции оборвутся. После этого администратор должен будет вручную стартовать сервер и выполнить заморозку.

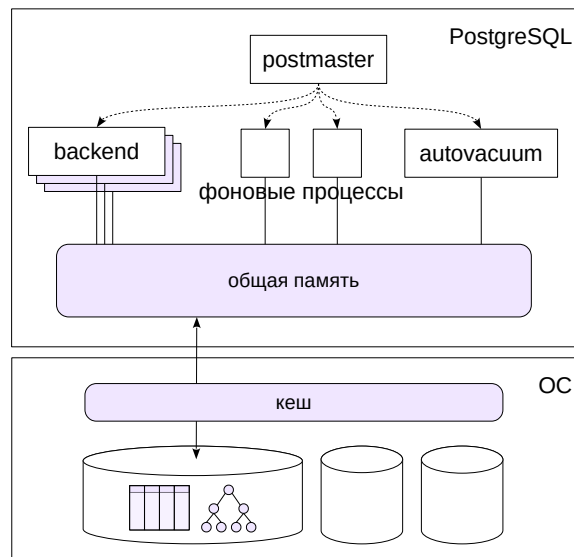
Автоматическая очистка

Autovacuum launcher

фоновый процесс
периодически запускает
рабочие процессы

Autovacuum worker

очищает таблицы
отдельной базы данных,
требующие обработки



Выполнение всех описанных выше периодических задач обслуживания берет на себя фоновый процесс автоочистки (*autovacuum*). Он динамически реагирует на частоту обновления таблиц: чем активней изменения, тем чаще таблица будет обрабатываться.

В системе постоянно присутствует процесс *autovacuum launcher*, который планирует работу очистки и запускает необходимое число рабочих процессов *autovacuum worker*, работающих параллельно.

Очистка работает постранично, не приводя к блокировкам других транзакций, хотя и создает, конечно, нагрузку на подсистему ввода-вывода.

Автоматическая очистка перестанет работать при отключении любого из двух параметров *autovacuum* или *track_counts*. Может ошибочно показаться, что отключение способно увеличить производительность системы за счет исключения «лишних» операций ввода-вывода.

На самом деле отказ от очистки влечет за собой последствия, описанные выше: неконтролируемое разрастание файлов, замедление запросов и риск аварийной остановки сервера. В конечном итоге это приведет к полному параличу системы.

Автоочистка должна работать. Она настраивается большим количеством конфигурационных параметров; эта настройка детально обсуждается в курсе DBA2 «Настройка и мониторинг».

Очистка

VACUUM [*таблица, ...*]

очистка отдельных таблиц

VACUUM

очистка всей БД

\$ vacuumdb

обертка для использования в ОС

Анализ

ANALYZE

\$ vacuumdb --analyze-only

Очистка и анализ

VACUUM ANALYZE

\$ vacuumdb --analyze

При необходимости очистку и анализ можно запускать вручную.

Для этого служат команды VACUUM (только очистка), ANALYZE (только анализ), а также VACUUM ANALYZE (и очистка, и анализ).

Автоочистка отличается от запуска очистки и анализа по расписанию тем, что реагирует на активность изменения данных. Слишком частый запуск по расписанию создаст ненужную нагрузку на систему. Если же запускать очистку редко, при большом объеме изменений файлы могут успеть существенно вырасти в размерах.

<https://postgrespro.ru/docs/postgresql/16/sql-vacuum>

<https://postgrespro.ru/docs/postgresql/16/sql-analyze>

Очистка

```
=> CREATE DATABASE arch_vacuum_overview;
```

CREATE DATABASE

```
=> \c arch_vacuum_overview
```

You are now connected to database "arch_vacuum_overview" as user "student".

Создадим таблицу, в целях эксперимента отключив для нее автоматическую очистку, чтобы контролировать время срабатывания:

```
=> CREATE TABLE bloat(  
  id integer GENERATED ALWAYS AS IDENTITY,  
  d timestampz  
) WITH (autovacuum_enabled = off);
```

CREATE TABLE

Заполним таблицу данными и создадим индекс:

```
=> INSERT INTO bloat(d)  
  SELECT current_timestamp FROM generate_series(1,100_000);
```

INSERT 0 100000

```
=> CREATE INDEX ON bloat(d);
```

CREATE INDEX

Сейчас все строки таблицы имеют ровно одну, актуальную, версию.

Теперь обновим часть строк:

```
=> UPDATE bloat SET d = d + interval '1 day' WHERE id <= 10_000;
```

UPDATE 10000

Запустим очистку вручную и попросим ее рассказать о том, что происходит:

```
=> VACUUM (verbose) bloat;
```

```
INFO:  vacuuming "arch_vacuum_overview.public.bloat"  
INFO:  finished vacuuming "arch_vacuum_overview.public.bloat": index scans: 1  
pages: 0 removed, 595 remain, 595 scanned (100.00% of total)  
tuples: 10000 removed, 100000 remain, 0 are dead but not yet removable  
removable cutoff: 738, which was 0 XIDs old when operation ended  
new relfrozenxid: 735, which is 1 XIDs ahead of previous value  
frozen: 0 pages from table (0.00% of total) had 0 tuples frozen  
index scan needed: 55 pages from table (9.24% of total) had 10000 dead item identifiers  
removed  
index "bloat_d_idx": pages: 95 in total, 8 newly deleted, 8 currently deleted, 0 reusable  
avg read rate: 15.813 MB/s, avg write rate: 2.636 MB/s  
buffer usage: 1306 hits, 84 misses, 14 dirtied  
WAL usage: 733 records, 1 full page images, 91580 bytes  
system usage: CPU: user: 0.00 s, system: 0.00 s, elapsed: 0.04 s  
VACUUM
```

Из вывода команды можно заключить, что:

- из таблицы вычищены мертвые версии строк (tuples: 10000 removed...);
- из индекса удалены ссылки на них (index scan needed... 10000 dead item identifiers removed).

Очистка не уменьшает размер таблиц и индексов

«дыры» в страницах используются для новых данных, но место не возвращается операционной системе

Причины разрастания

- неправильная настройка автоочистки
- массовое изменение данных
- долгие транзакции

Негативное влияние

- перерасход места на диске
- замедление последовательного просмотра таблиц
- уменьшение эффективности индексного доступа

11

Очистка вычищает неактуальные версии строк из страниц. В страницах образуется свободное пространство, которое затем используется для размещения новых данных. Но освободившееся место не возвращается операционной системе, то есть с точки зрения ОС размер файлов данных не уменьшается.

В случае индексов (B-деревьев) дело осложняется тем, что если на странице не хватает места для размещения индексной записи, страница расщепляется на две. Получившиеся страницы уже никогда не объединяются, даже если из них будут удалены все индексные записи.

При правильной настройке процесса автоочистки файлы данных вырастают на некоторую постоянную величину за счет обновлений между запусками очистки. Но если выполняется одномоментное изменение большого объема данных или в системе присутствуют долгие транзакции (удерживающие снимки данных и не позволяющие вычищать неактуальные версии строк), очистка не сможет своевременно освобождать место. В результате размер таблиц и индексов может продолжать увеличиваться.

Разрастание файлов данных ведет не только к перерасходу места на диске (в том числе и для резервных копий), но и к ухудшению производительности.

https://wiki.postgresql.org/wiki/Show_database_bloat

<https://postgrespro.ru/docs/postgresql/16/pgstattuple>

Оценка разрастания таблиц и индексов

Понять, насколько критично разрослись объекты и пора ли предпринимать радикальные меры, можно разными способами:

- запросами к системному каталогу;
- используя расширение pgstattuple.

```
=> CREATE EXTENSION pgstattuple;
```

```
CREATE EXTENSION
```

С помощью расширения можно проверить состояние таблицы:

```
=> SELECT * FROM pgstattuple('bloat') \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----  
table_len      | 4874240  
tuple_count    | 100000  
tuple_len      | 4000000  
tuple_percent  | 82.06  
dead_tuple_count | 0  
dead_tuple_len | 0  
dead_tuple_percent | 0  
free_space     | 457324  
free_percent   | 9.38
```

- tuple_percent — доля полезной информации (не 100% из-за накладных расходов).

И индекса:

```
=> SELECT * FROM pgstatindex('bloat_d_idx') \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----  
version        | 4  
tree_level     | 1  
index_size     | 778240  
root_block_no  | 3  
internal_pages | 1  
leaf_pages     | 85  
empty_pages    | 0  
deleted_pages  | 8  
avg_leaf_density | 89.17  
leaf_fragmentation | 0
```

- leaf_pages — количество листовых страниц индекса;
- avg_leaf_density — заполненность листовых страниц;
- leaf_fragmentation — характеристика физической упорядоченности листовых страниц (0 — порядок, 100 — беспорядок).

Теперь обновим сразу половину строк:

```
=> UPDATE bloat SET d = d + interval '1 day' WHERE id % 2 = 0;
```

```
UPDATE 50000
```

Посмотрим на таблицу снова:

```
=> SELECT * FROM pgstattuple('bloat') \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----  
table_len      | 6643712  
tuple_count    | 100000  
tuple_len      | 4000000  
tuple_percent  | 60.21  
dead_tuple_count | 50000  
dead_tuple_len | 2000000  
dead_tuple_percent | 30.1  
free_space     | 21004  
free_percent   | 0.32
```

Плотность уменьшилась.

Чтобы не читать всю таблицу целиком, можно попросить pgstattuple показать приблизительную информацию:

```
=> SELECT * FROM pgstattuple_approx('bloat') \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----  
table_len      | 6643712  
scanned_percent | 100  
approx_tuple_count | 100000  
approx_tuple_len  | 4000000  
approx_tuple_percent | 60.207305795314426  
dead_tuple_count  | 50000  
dead_tuple_len    | 2000000  
dead_tuple_percent | 30.103652897657213  
approx_free_space | 21004  
approx_free_percent | 0.31614856273119607
```

И посмотрим на индекс:

```
=> SELECT * FROM pgstatindex('bloat_d_idx') \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----  
version      | 4  
tree_level   | 1  
index_size   | 1171456  
root_block_no | 3  
internal_pages | 1  
leaf_pages   | 133  
empty_pages  | 0  
deleted_pages | 8  
avg_leaf_density | 85.41  
leaf_fragmentation | 2.26
```

Заполненность листовых страниц осталась на прежнем уровне, но количество страниц заметно увеличилось.

Полная очистка

```
VACUUM FULL
```

```
$ vacuumdb --full
```

полностью перестраивает содержимое таблиц и индексов

полностью блокирует работу с таблицей

Перестроение индексов

```
REINDEX
```

перестраивает индексы

полностью блокирует работу с индексом

и блокирует изменение таблицы

Для того чтобы уменьшить физический размер разросшихся таблиц и индексов, требуется *полная очистка*.

Команда `VACUUM FULL` полностью перезаписывает содержимое таблицы и ее индексов, минимизируя занимаемое место. Однако этот процесс требует исключительной блокировки таблицы и поэтому не может выполняться параллельно с другими транзакциями.

<https://postgrespro.ru/docs/postgresql/16/sql-vacuum>

Можно перестроить один индекс или несколько индексов, не трогая таблицу, — это делает команда `REINDEX`. Она устанавливает блокировки на запись в таблицу и на использование перестраиваемого индекса, поэтому транзакции, пытающиеся изменить таблицу или планировать запрос к ней, будут приостановлены.

<https://postgrespro.ru/docs/postgresql/16/sql-reindex>

Если долгая исключительная блокировка нежелательна, можно рассмотреть стороннее расширение `pg_repack`

https://github.com/reorg/pg_repack, позволяющее выполнить перестроение таблицы и ее индексов «на лету».

Неблокирующее перестроение индексов

`REINDEX ... CONCURRENTLY`

перестраивает индексы, не блокируя изменение таблицы

выполняется дольше и может завершиться неудачно

не транзакционно

не работает для системных индексов

не работает для индексов, связанных с ограничениями-исключениями

Команда `REINDEX` с указанием `CONCURRENTLY` работает без блокировки таблицы на запись. Однако неблокирующее перестроение выполняется дольше и может завершиться неудачно (из-за взаимоблокировок) — в таком случае индекс потребует еще раз перестроить.

У неблокирующего перестроения индексов есть ряд ограничений. Такая операция не может выполняться внутри транзакции. В неблокирующем режиме нельзя перестроить системные индексы и индексы, связанные с ограничениями-исключениями (`EXCLUDE`).

Перестроение объектов

Для перестроения индексов удобно использовать команду REINDEX с указанием CONCURRENTLY. Это позволяет не останавливать работу системы на время перестроения.

```
=> REINDEX TABLE CONCURRENTLY bloat;
```

REINDEX

Теперь посмотрим на индекс:

```
=> SELECT * FROM pgstatindex('bloat_d_idx') \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----  
version      | 4  
tree_level   | 1  
index_size   | 712704  
root_block_no | 3  
internal_pages | 1  
leaf_pages   | 85  
empty_pages  | 0  
deleted_pages | 0  
avg_leaf_density | 89.17  
leaf_fragmentation | 0
```

Количество страниц и плотность вернулись к начальным значениям.

Для перестроения таблицы вместе с ее индексами можно воспользоваться командой VACUUM FULL. Однако, в отличие от REINDEX CONCURRENTLY, она полностью блокирует работу с таблицей.

```
=> VACUUM FULL bloat;
```

VACUUM

```
=> SELECT * FROM pgstattuple('bloat') \gx
```

```
-[ RECORD 1 ]-----+-----  
table_len      | 4431872  
tuple_count    | 100000  
tuple_len      | 4000000  
tuple_percent  | 90.26  
dead_tuple_count | 0  
dead_tuple_len | 0  
dead_tuple_percent | 0  
free_space     | 16724  
free_percent   | 0.38
```

Плотность увеличилась, освобожденное место отдано операционной системе.

Версии строк накапливаются, поэтому необходима периодическая очистка

Процедура очистки решает много других задач:

- обновление карт видимости и свободного пространства
- сбор статистики для планировщика
- заморозка старых версий строк

Автоочистка должна работать, но требует настройки

При разрастании может потребоваться полная очистка

1. Отключите процесс автоочистки и убедитесь, что он не работает.
2. В новой базе данных создайте таблицу с одним числовым столбцом и индекс по этой таблице. Вставьте в таблицу 100 000 случайных чисел.
3. Несколько раз измените половину строк таблицы, контролируя на каждом шаге размер таблицы и индекса.
4. Выполните полную очистку.
5. Повторите действия пункта 3, вызывая после каждого изменения обычную очистку. Сравните результаты.
6. Включите процесс автоочистки.

1. Установите параметр *autovacuum* в значение off и попросите сервер перечитать файлы конфигурации.

3. Используйте функции `pg_table_size(имя-таблицы)` и `pg_indexes_size(имя-таблицы)`. Подробнее о функциях для вычисления размеров различных объектов говорится в модуле «Организация данных».

6. Установите параметр *autovacuum* в значение on (или сбросьте значение этого параметра командой RESET), затем попросите сервер перечитать файлы конфигурации.

1. Отключение автоочистки

Пока автоочистка запущена.

```
=> SELECT pid, backend_start, backend_type
FROM pg_stat_activity
WHERE backend_type = 'autovacuum launcher';
```

pid	backend_start	backend_type
31871	2025-02-05 10:06:57.797457+03	autovacuum launcher

(1 row)

Выключаем автоочистку и перечитываем настройки конфигурации.

```
=> ALTER SYSTEM SET autovacuum = off;
```

ALTER SYSTEM

```
=> SELECT pg_reload_conf();
```

pg_reload_conf
t

(1 row)

Теперь процесса autovacuum launcher нет.

```
=> SELECT pid, backend_start, backend_type
FROM pg_stat_activity
WHERE backend_type = 'autovacuum launcher';
```

pid	backend_start	backend_type
-----	---------------	--------------

(0 rows)

2. База данных, таблица и индекс

Создаем базу данных, таблицу и индекс:

```
=> CREATE DATABASE arch_vacuum_overview;
```

CREATE DATABASE

```
=> \c arch_vacuum_overview
```

You are now connected to database "arch_vacuum_overview" as user "student".

```
=> CREATE TABLE t(n numeric);
```

CREATE TABLE

```
=> CREATE INDEX t_n on t(n);
```

CREATE INDEX

Вставляем строки:

```
=> INSERT INTO t SELECT random() FROM generate_series(1,100_000);
```

INSERT 0 100000

3. Изменение строк без очистки

Для удобства записываем запрос, вычисляющий размер таблицы и индекса, в переменную psql:

```
=> \set SIZE 'SELECT pg_size_pretty(pg_table_size(''t'')) table_size, pg_size_pretty(pg_indexes_size(''t'')) index_size\\g (footer=off)'
```

```
=> :SIZE
```

table_size	index_size
4360 kB	4344 kB

```
=> UPDATE t SET n=n WHERE n < 0.5;
```

UPDATE 50321

```
=> :SIZE
```

table_size	index_size
6536 kB	6464 kB

```
=> UPDATE t SET n=n WHERE n < 0.5;
```

UPDATE 50321

```
=> :SIZE
```

table_size		index_size
8712 kB		8184 kB

```
=> UPDATE t SET n=n WHERE n < 0.5;
```

```
UPDATE 50321
```

```
=> :SIZE
```

table_size		index_size
11 MB		10 MB

Размер таблицы и индекса постоянно растет.

4. Полная очистка

```
=> VACUUM FULL t;
```

```
VACUUM
```

```
=> :SIZE
```

table_size		index_size
4336 kB		3104 kB

Размер таблицы практически вернулся к начальному, индекс стал компактнее (построить индекс по большому объему данных эффективнее, чем добавлять эти данные к индексу построчно).

5. Изменение строк с очисткой

```
=> UPDATE t SET n=n WHERE n < 0.5;
```

```
UPDATE 50321
```

```
=> VACUUM t;
```

```
VACUUM
```

```
=> :SIZE
```

table_size		index_size
6544 kB		4656 kB

```
=> UPDATE t SET n=n WHERE n < 0.5;
```

```
UPDATE 50321
```

```
=> VACUUM t;
```

```
VACUUM
```

```
=> :SIZE
```

table_size		index_size
6544 kB		4656 kB

```
=> UPDATE t SET n=n WHERE n < 0.5;
```

```
UPDATE 50321
```

```
=> VACUUM t;
```

```
VACUUM
```

```
=> :SIZE
```

table_size		index_size
6544 kB		4656 kB

Размер увеличился один раз и затем стабилизировался.

Пример показывает, что удаление (и изменение) большого объема данных по возможности следует разделить на несколько транзакций. Это позволит автоматической очистке своевременно удалять ненужные версии строк, что позволит избежать чрезмерного разрастания таблицы.

6. Восстанавливаем автоочистку

```
=> ALTER SYSTEM RESET autovacuum;
```

```
ALTER SYSTEM
```

```
=> SELECT pg_reload_conf();
```

pg_reload_conf
t
(1 row)

