

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ

Использование оперативной памяти для кэширования в системах с распределенной виртуальной памятью

Докторант: Вязигин Степан Витальевич

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы,
Казахстан

Научный руководитель: Д.ф.-м.н., И.о. профессора Дюсембаев
Ануар Ермуканович

Новосибирск 2022

Мультикомпьютерная система

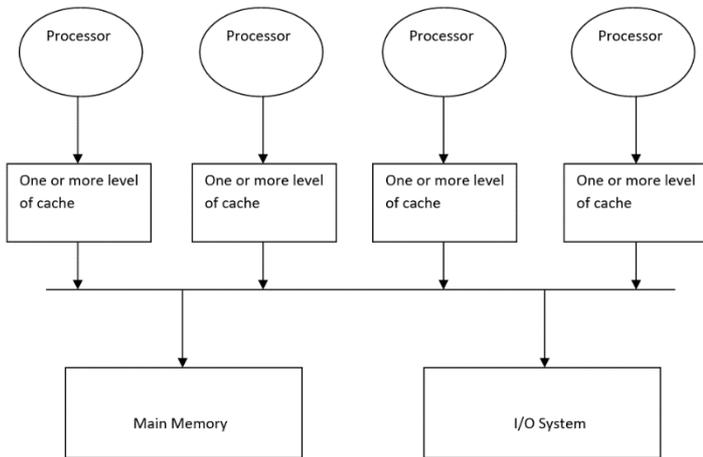
- Мультикомпьютерные системы с распределенной виртуальной памятью (СРВП) на сегодняшний день являются основной вычислительных центров (ВЦ). И имеют следующий вид:



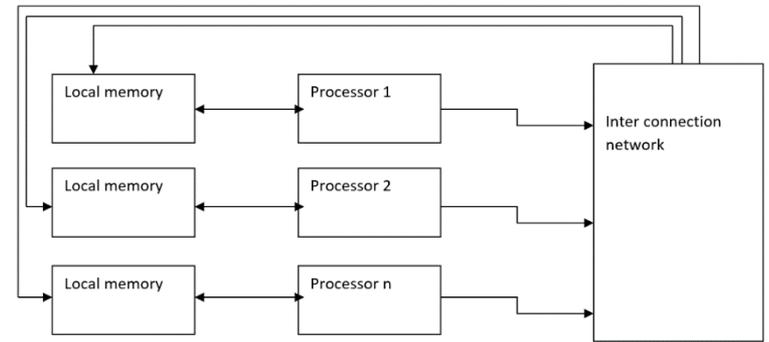
Варианты СРВП

- Компьютер-компьютер
- Процессор-процессор (ядро-ядро)
- Графический процессор – графический процессор
- Процессор – графический процессор

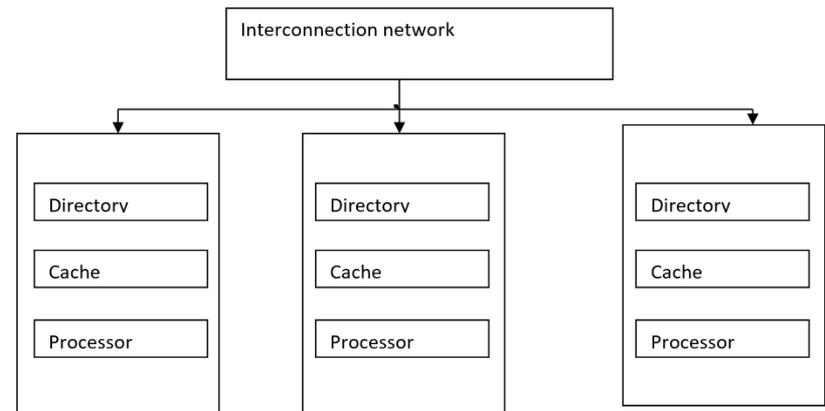
Вариант СРВП: Процессор-процессор (ядро-ядро)



унифицированный доступ к памяти



неоднородный доступ к памяти



кэш-память

Вариант СРВП:

Графический процессор – графический процессор

- Crossfire – технология AMD
- SLI – технология Nvidia

Режимы работы

СРВП

- Рендеринг с разделением кадров, при котором нагрузка рендеринга распределяется по горизонтали на куски в зависимости от сложности 3D и делится на графические процессоры.
- Сглаживание SLI, благодаря чему возможности сглаживания увеличиваются в два раза благодаря совместному распределению задачи обработки между графическими процессорами в схеме смещения.

Не СРВП

- Альтернативный рендеринг кадров, при котором каждый графический процессор последовательно выводит кадр. GPU 1 отображает кадр 1, GPU 2 отображает кадр 2, GPU 1 отображает кадр 3, GPU 2 отображает кадр 4 и т.д. До бесконечности.

Вариант СРВП:

Процессор – графический процессор

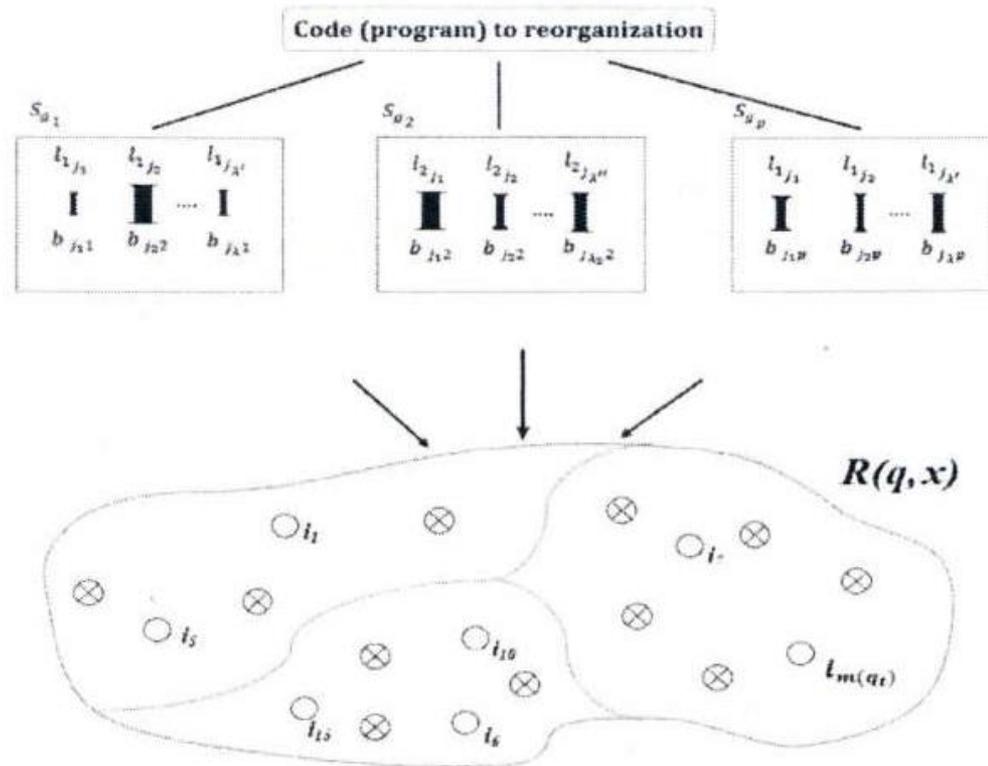
- AMD Smart Access Memory– технология AMD (2020 год)
- Resizable BAR– технология Nvidia(2021 год)

Вариант СРВП: Компьютер-компьютер

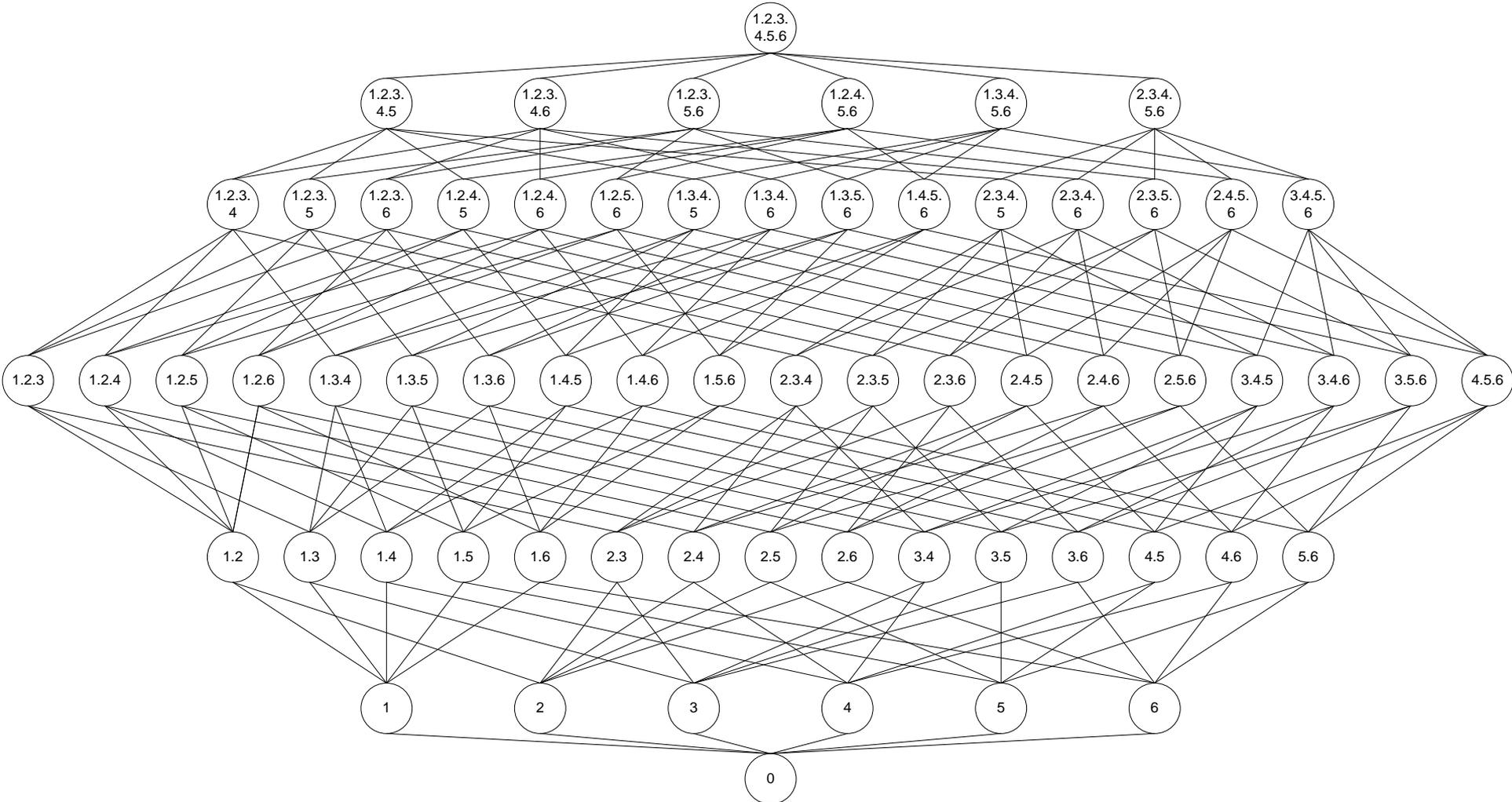
- Высокоскоростная коммутационная сеть InfiniBand
- Кластеры
- Технология блокчейн (технология распределенных реестров)

Страницы

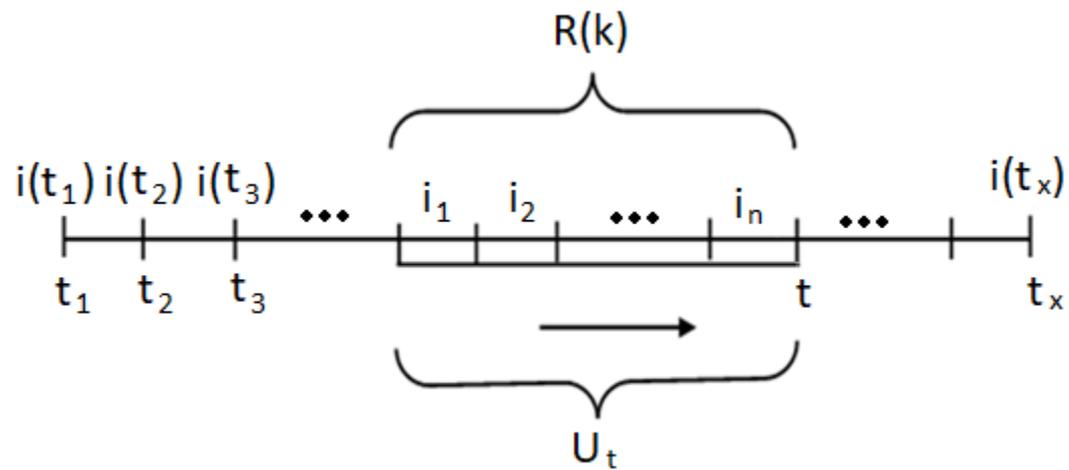
- Как известно программы для мультимьютерных систем создается на основе блоков отвечающих за определенную задачу. В свою очередь блоки распределяются в страницы по виртуальной памяти мультимьютерной системы.
- При этом должны выполняться ряд естественных ограничений: каждый блок кода принадлежит лишь одной странице, суммарная длина блоков на одной странице не превосходит длины страницы, длина любого рабочего множества страниц не превосходит некоторой системной константы, значение которой известно заранее.



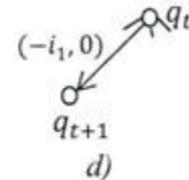
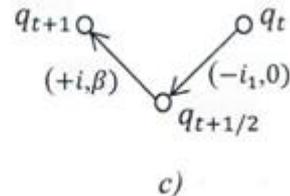
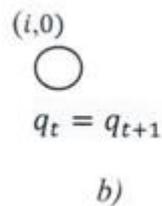
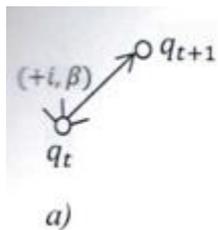
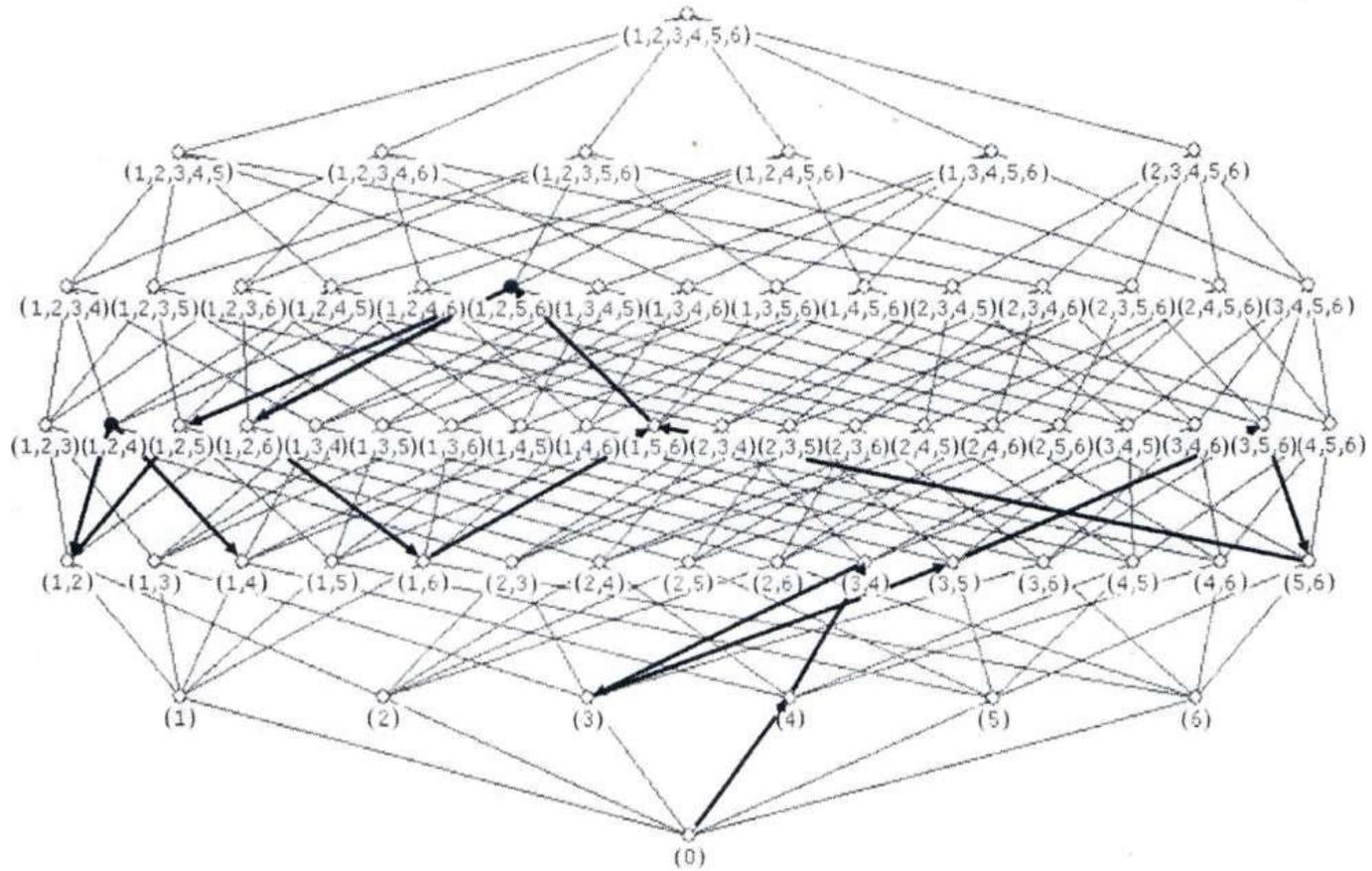
Модель комбинаторного пространства или “Рабочее множество”



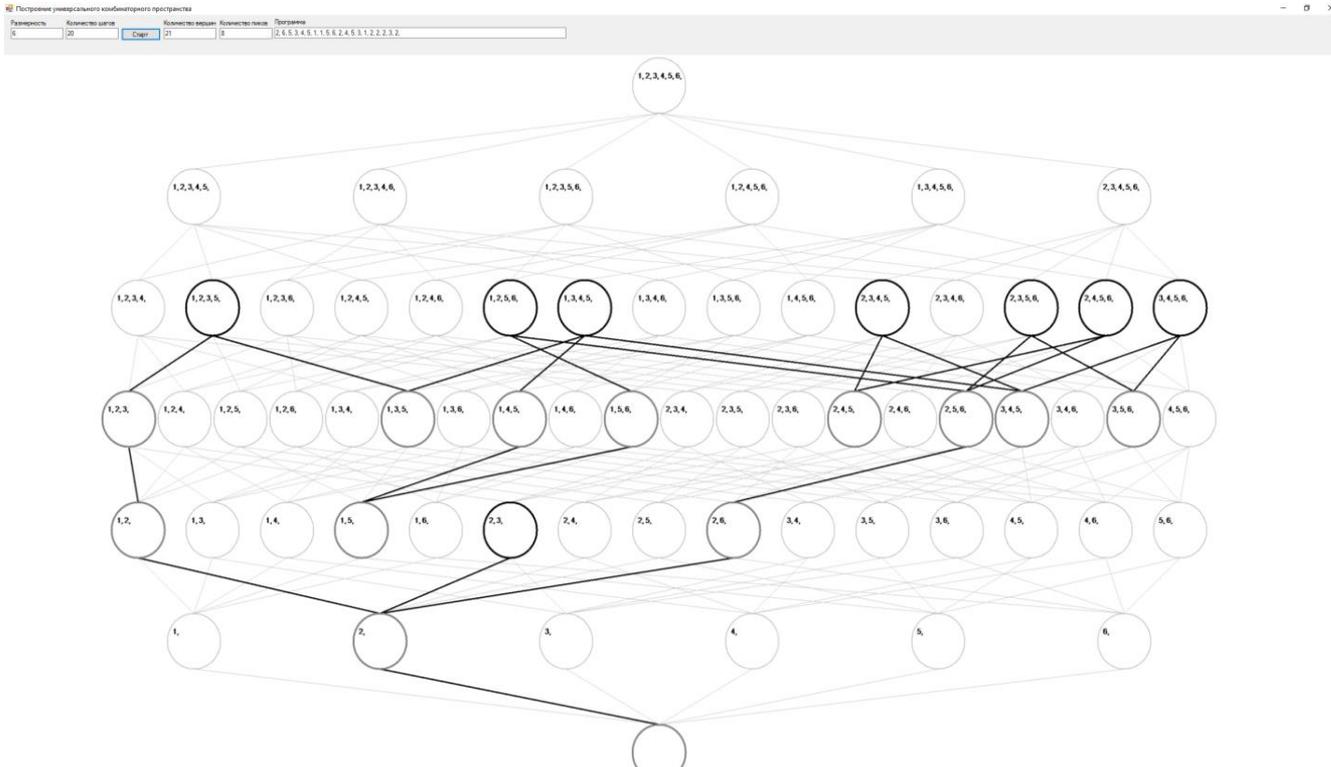
Строка ссылок рабочего множества



Ход вычислений



- $(0) \rightarrow (2) \rightarrow (2,6) \rightarrow (2,5,6) \rightarrow (2,3,5,6) \rightarrow (3,4,5,6) \rightarrow (3,4,5) \rightarrow (1,3,4,5) \rightarrow (1,4,5) \rightarrow (1,5) \rightarrow (1,5,6) \rightarrow (1,2,5,6) \rightarrow (2,4,5,6) \rightarrow (2,4,5,6) \rightarrow (2,3,4,5) \rightarrow (1,3,4,5) \rightarrow (1,2,3,5) \rightarrow (1,2,3) \rightarrow (1,2) \rightarrow (2,3)$



Кэши

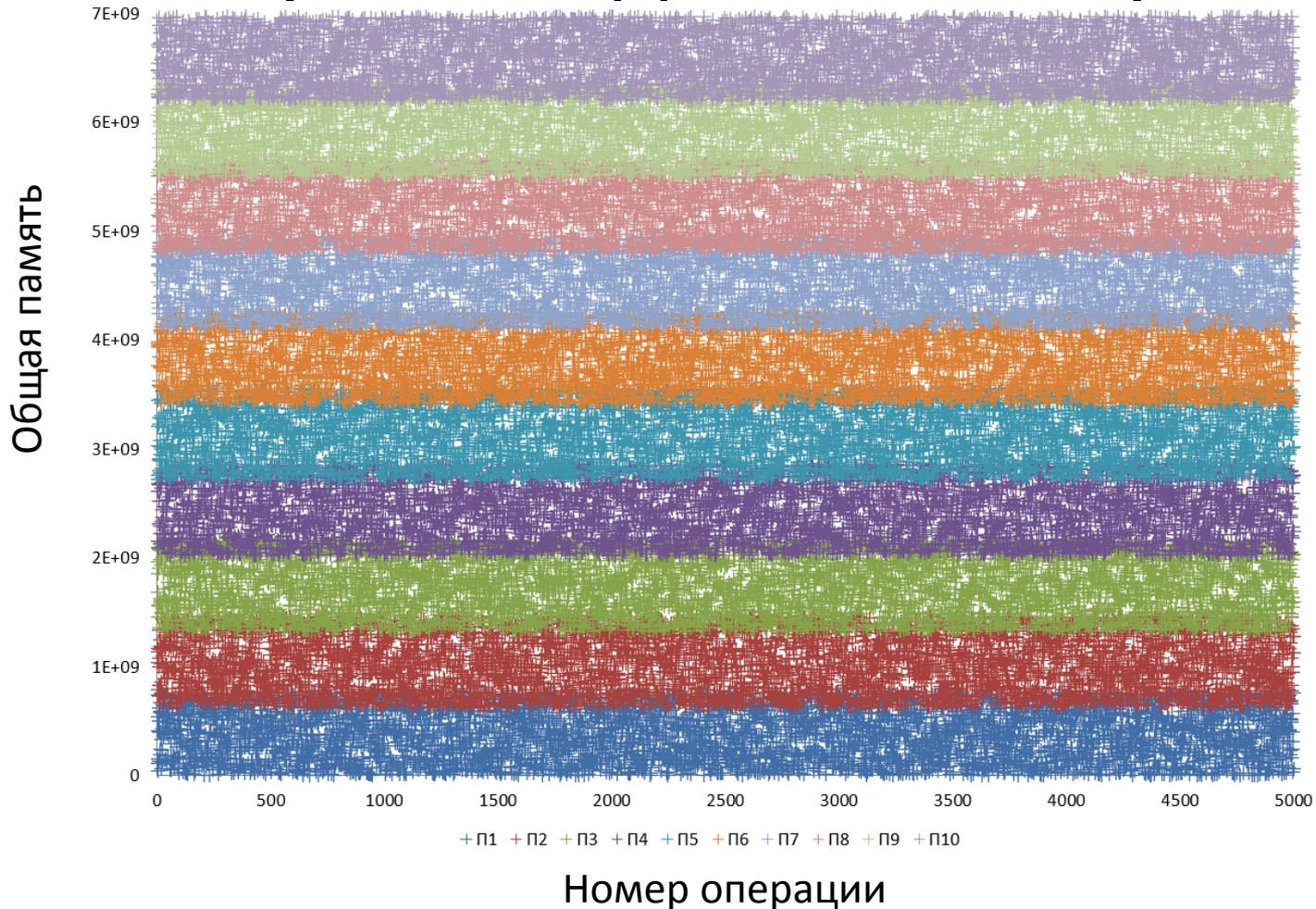
- **Буферный кэш**
- Буферный кэш содержит буферы данных, которые используются драйверами блочных устройств. Эти буферы имеют фиксированный размер (например, 512 байт) и содержат блоки информации, которые были либо считаны с устройства, либо записываются в него.
- **Кэш страницы**
- Это используется для ускорения доступа к данным на диске.
- **Кэш подкачки**
- В файле подкачки сохраняются только измененные страницы.
- **Аппаратные кэши**
- Один обычно реализуемый аппаратный кэш находится в процессоре; кэш записей таблицы страниц.

Кэширование данных в оперативную память

- Данный кэш позволяет дублировать страницы для дальнейшего чтения страниц из локальной памяти, а не обмена страниц в системе. Страницы в данном кэше помечены как «только для чтения» и в случае если необходимо записать в эту страницу данные то текущий вычислительный узел отправляет запрос на удаление страницы из других узлов, после чего данная страница остается в единственном экземпляре в системе и выполняются все требования для редактирования страниц в системе с распределенной виртуальной памятью.

Эксперимент 1:

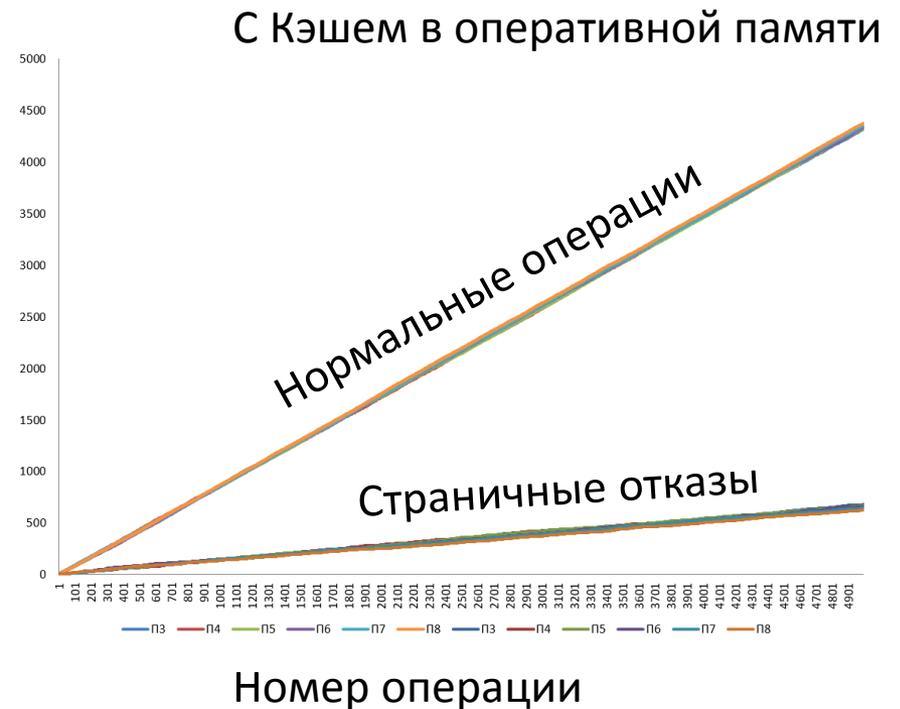
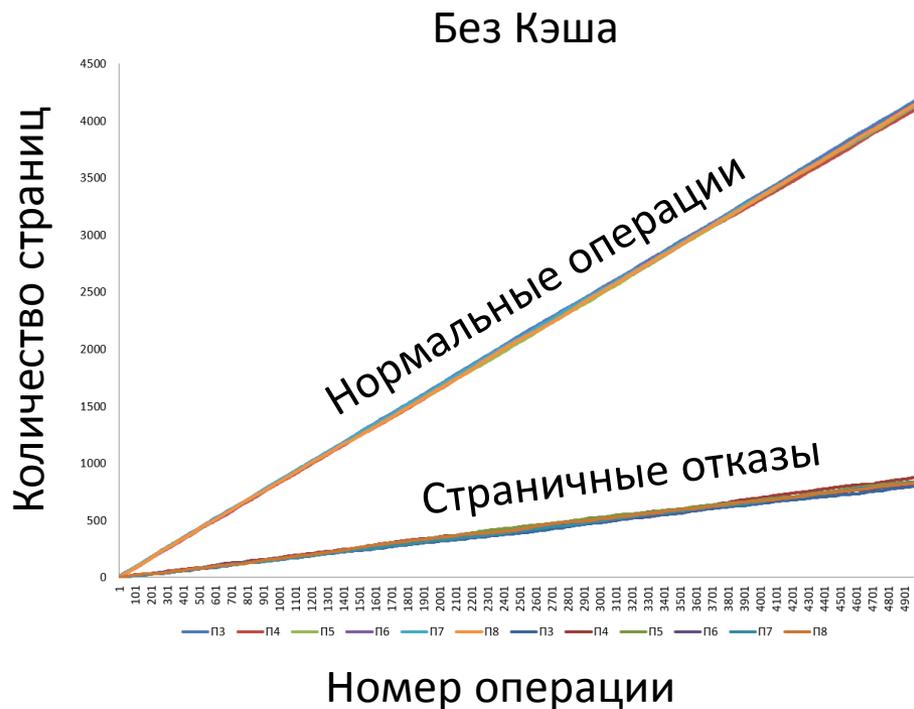
20% доп. загрузок страниц, 5% Кэш
(Кэш из доп. памяти)



Нормально и Отказ страниц

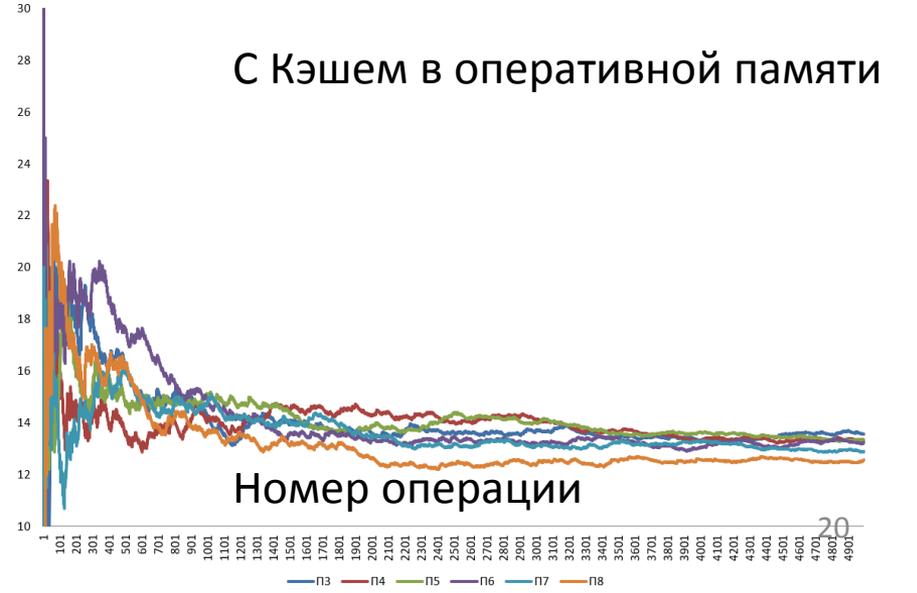
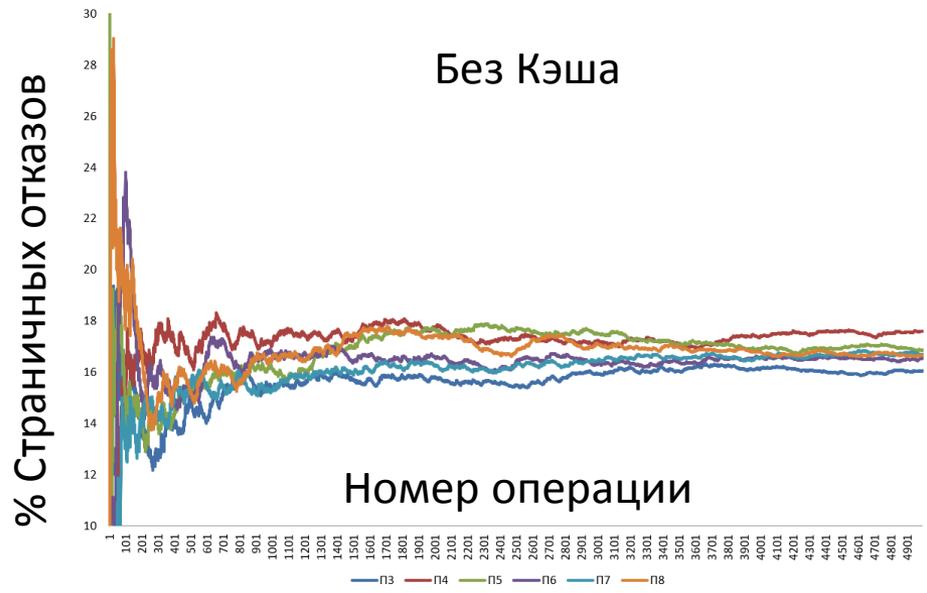
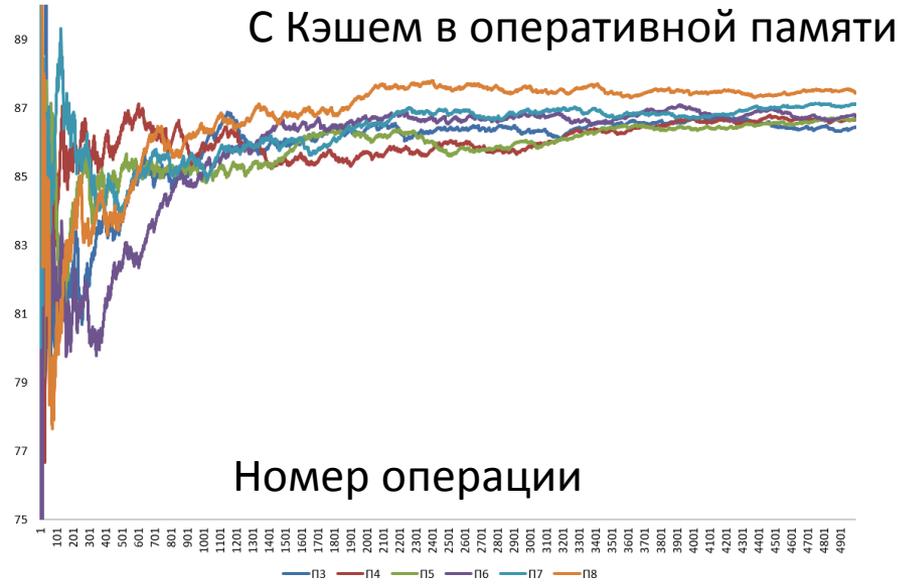
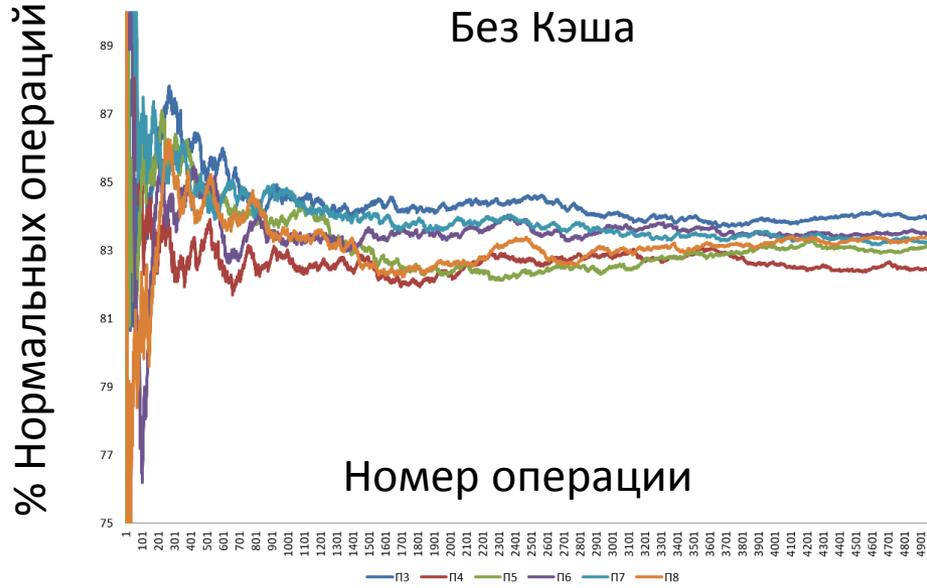
Количество нормальных операций: 83705
Среднее время замера 12.85 секунд

Количество нормальных операций: 87294
Среднее время замера 10.15 секунды



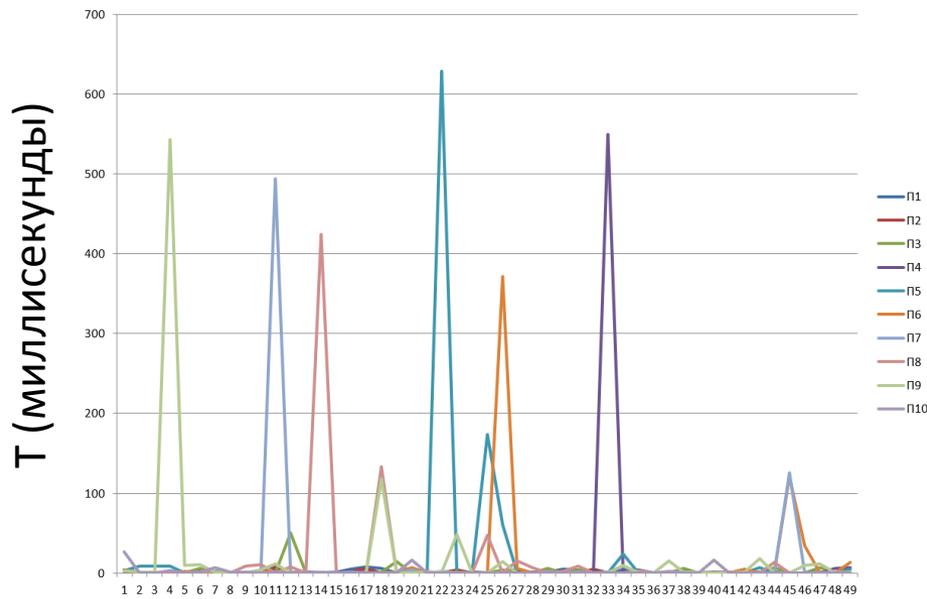
Результат: уменьшение страничных отказов на 3,6%
Уменьшение затраченного времени на 21%

% Нормально, % Отказ



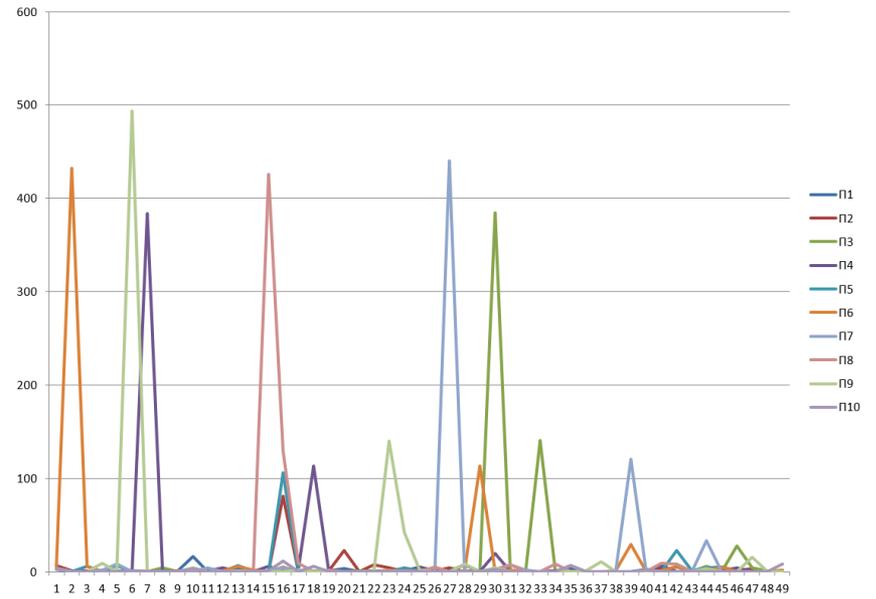
Время выполнения операции

Без Кэша



Номер операции

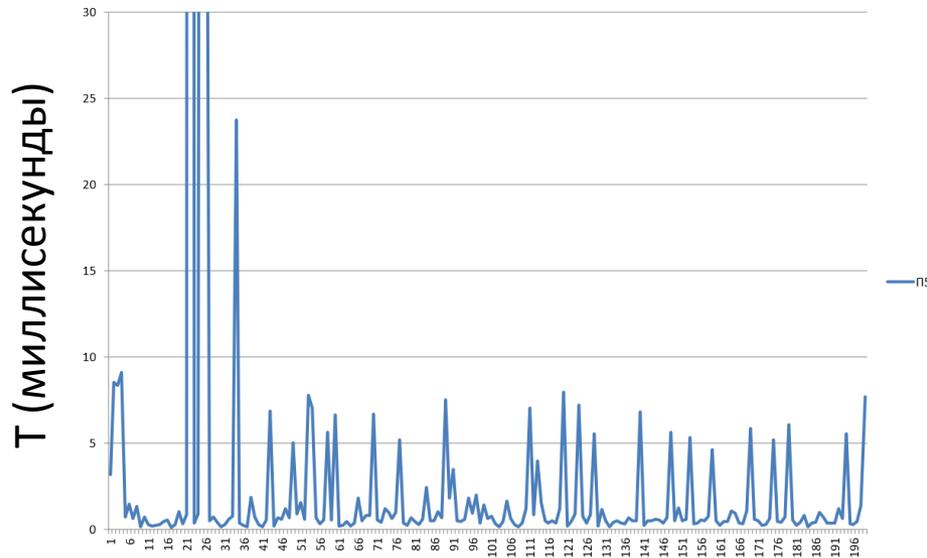
С Кэшем в оперативной памяти



Номер операции

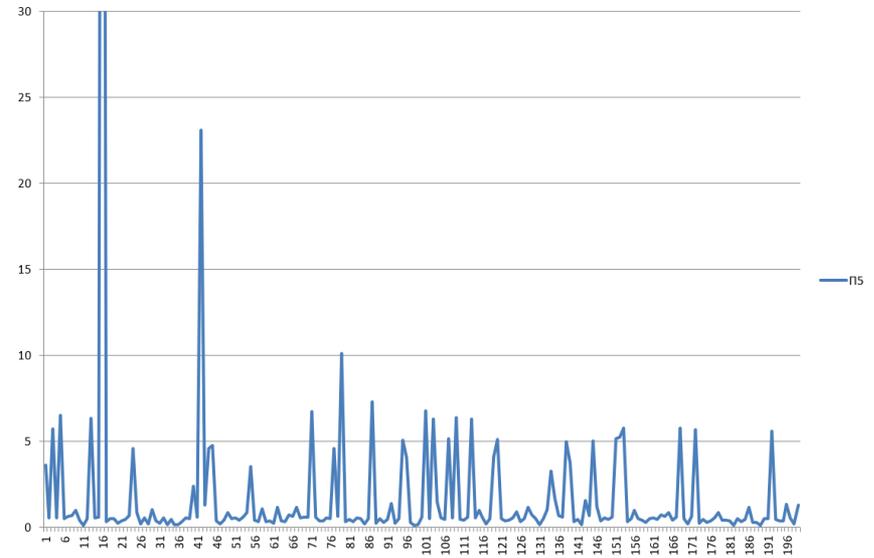
Время выполнения

Без Кэша



Номер операции

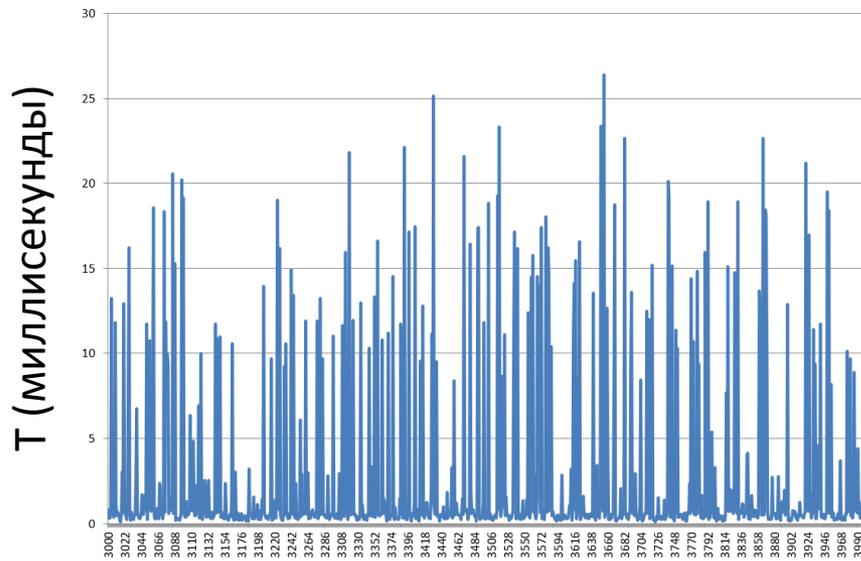
С Кэшем в оперативной памяти



Номер операции

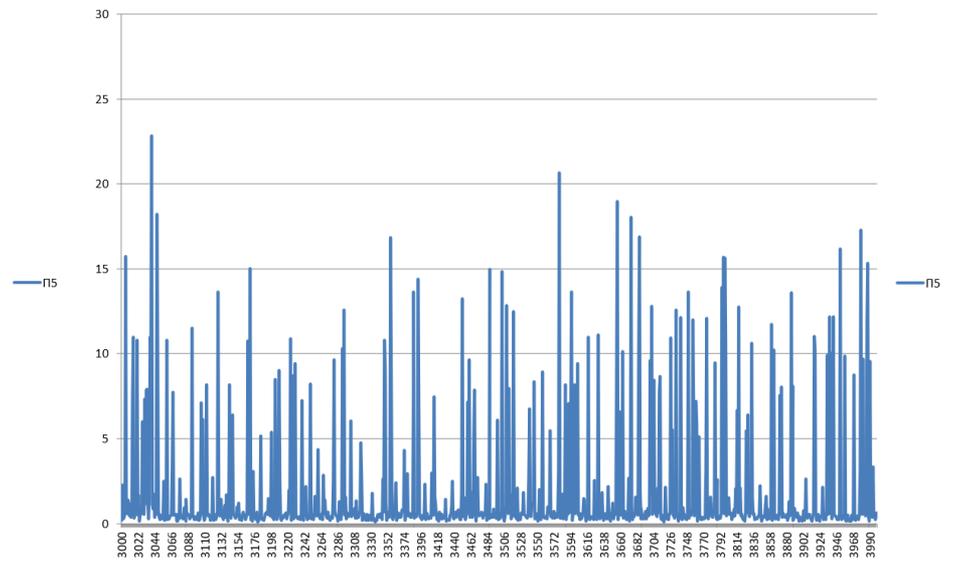
Время выполнения

Без Кэша



Номер операции

С Кэшем в оперативной памяти



Номер операции

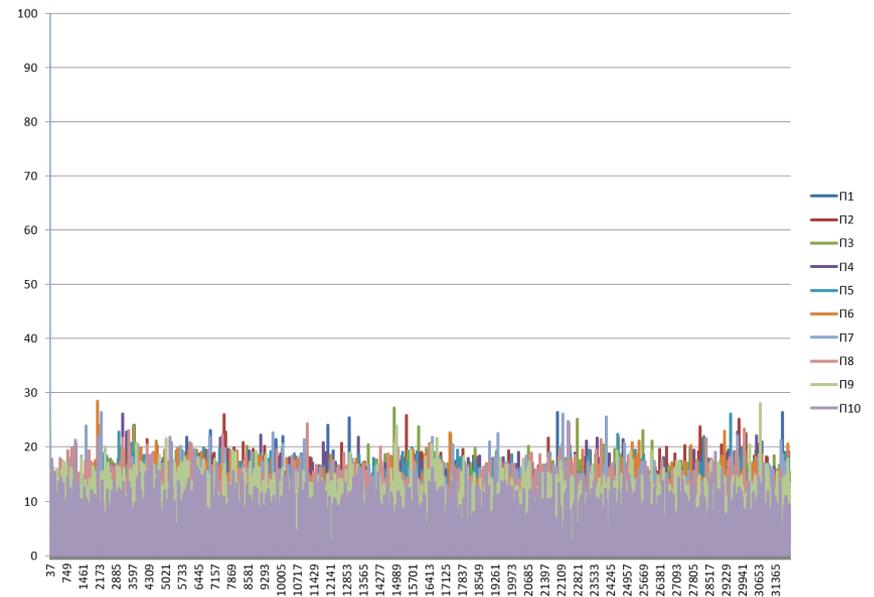
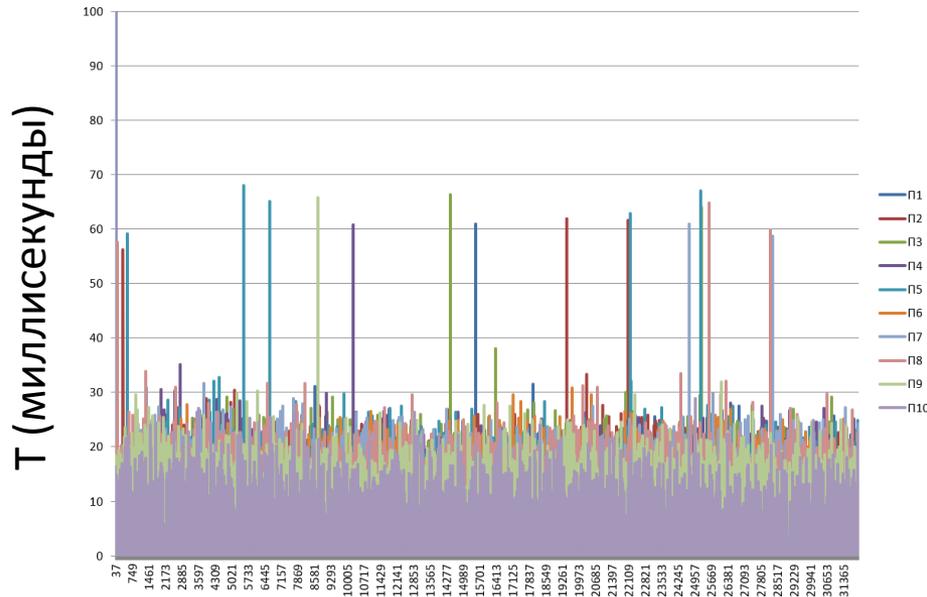
Время выполнения

Средняя длительность страничного отказа 20 миллисекунд

Средняя длительность страничного отказа 15 миллисекунд

Без Кэша

С Кэшем в оперативной памяти

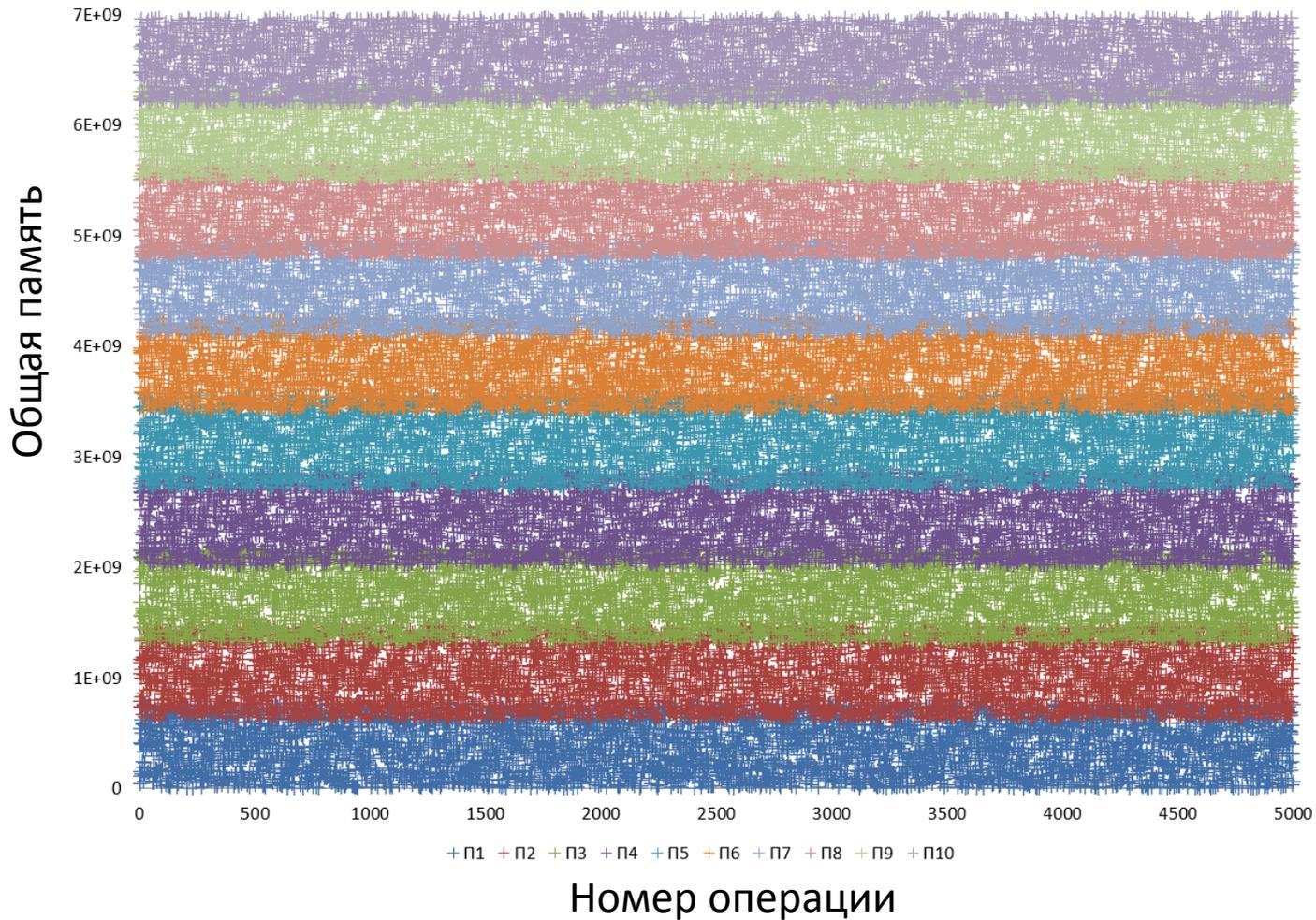


Номер операции

Номер операции

Эксперимент 2:

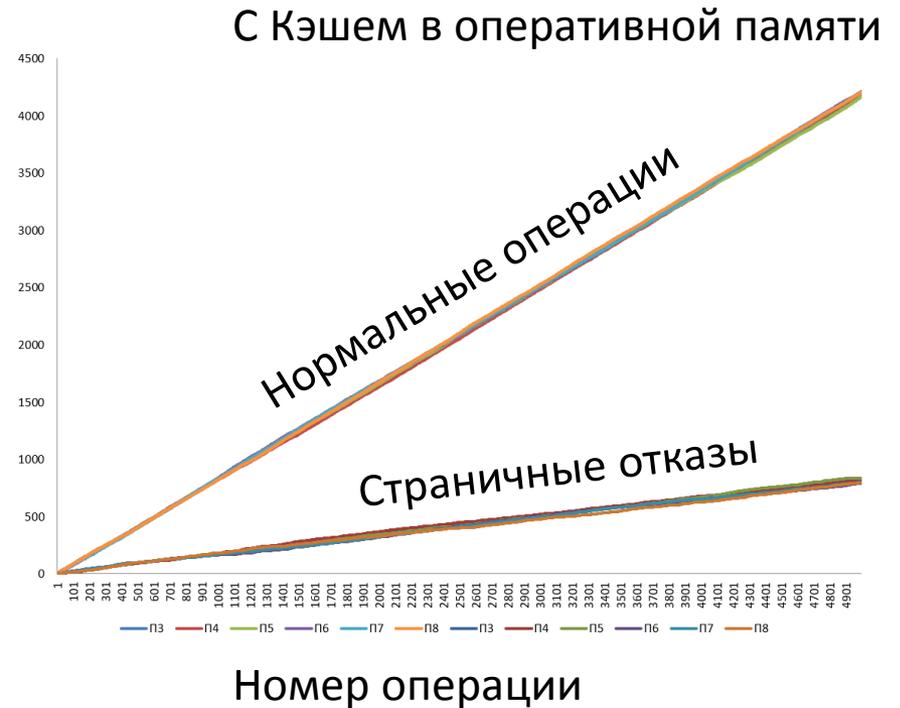
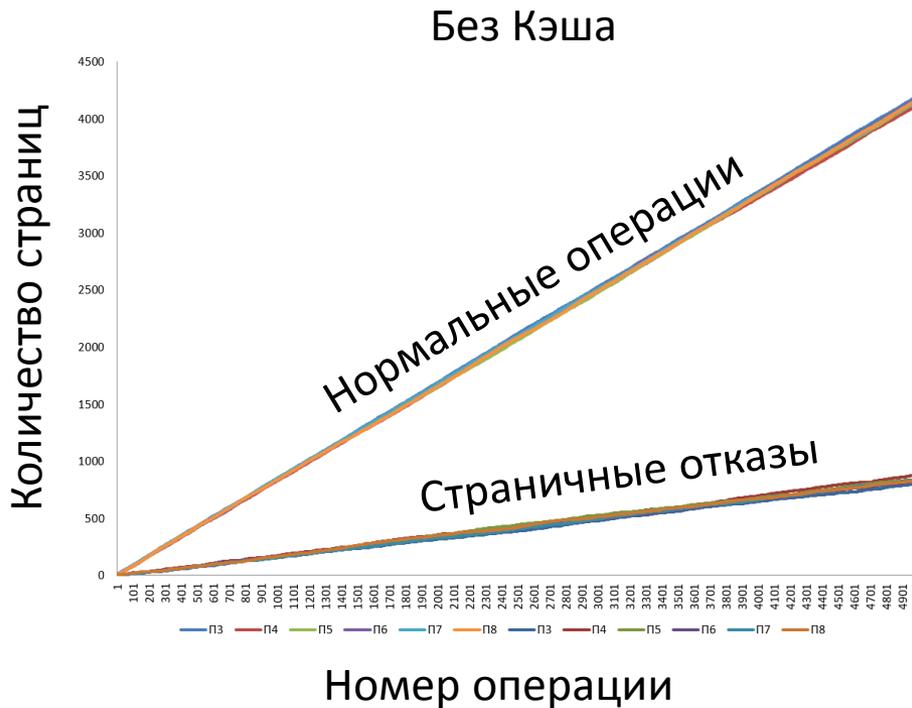
20% доп. загрузок страниц, 5% Кэш



Нормально и Отказ страниц

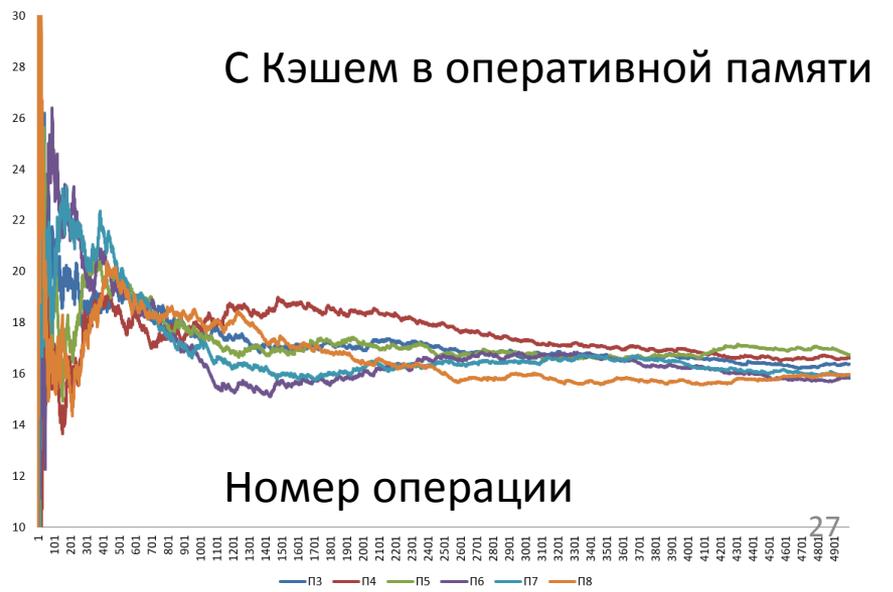
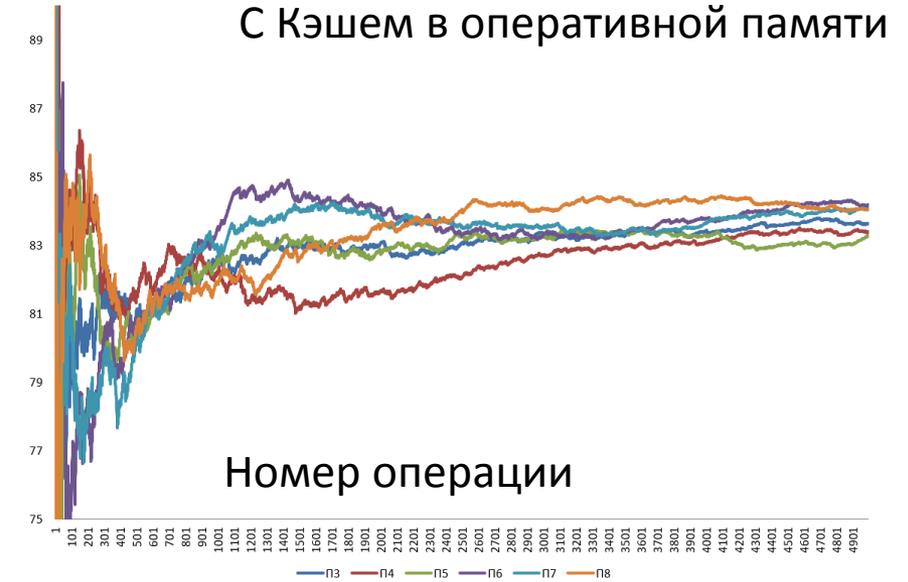
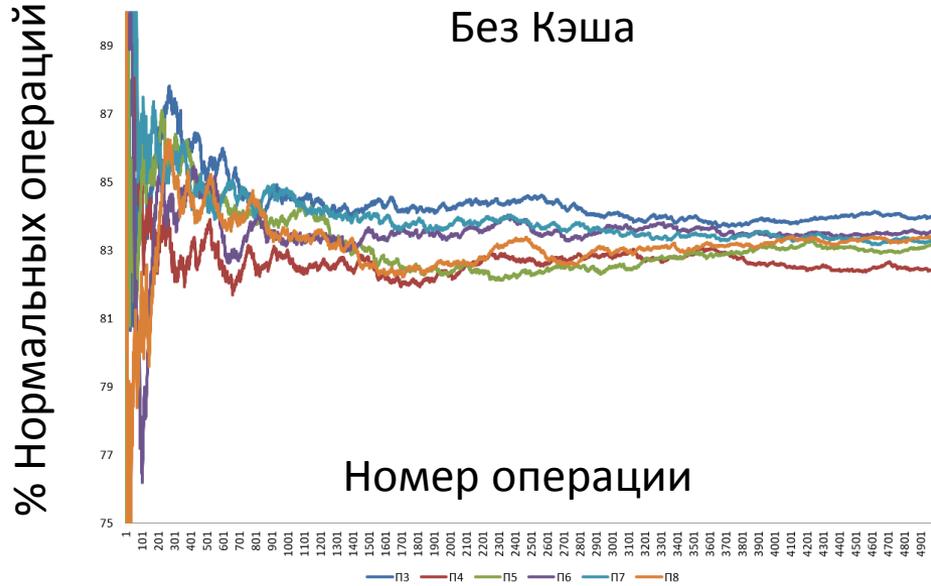
Количество нормальных операций: 83705
Среднее время замера 12.85 секунд

Количество нормальных операций: 83779
Среднее время замера 11.54 секунды



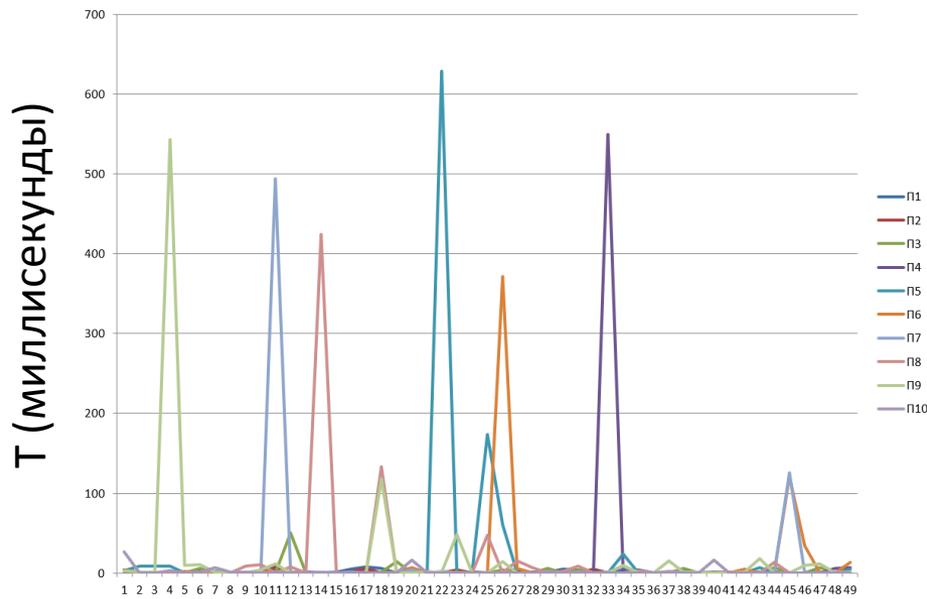
Результат: Уменьшение затраченного времени на 10%

% Нормально, % Отказ



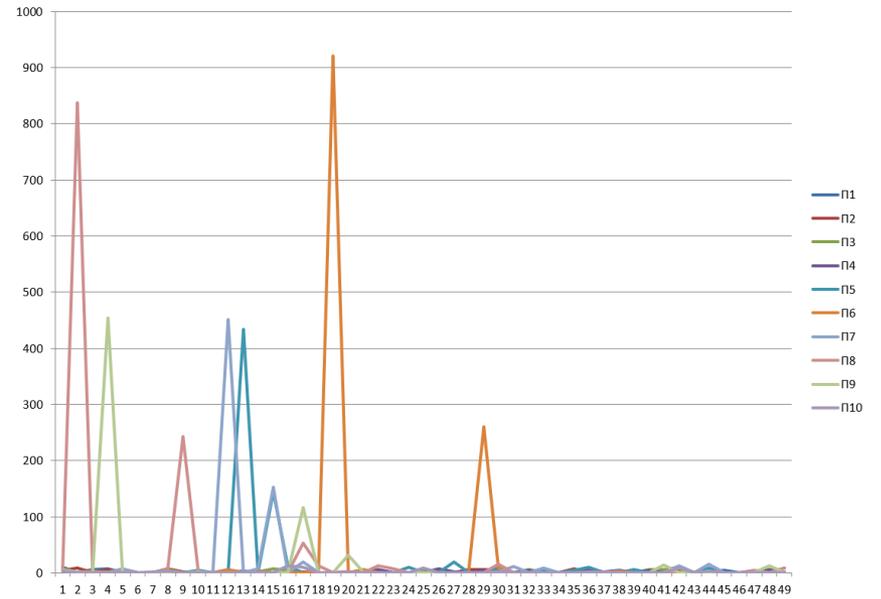
Время выполнения

Без Кэша



Номер операции

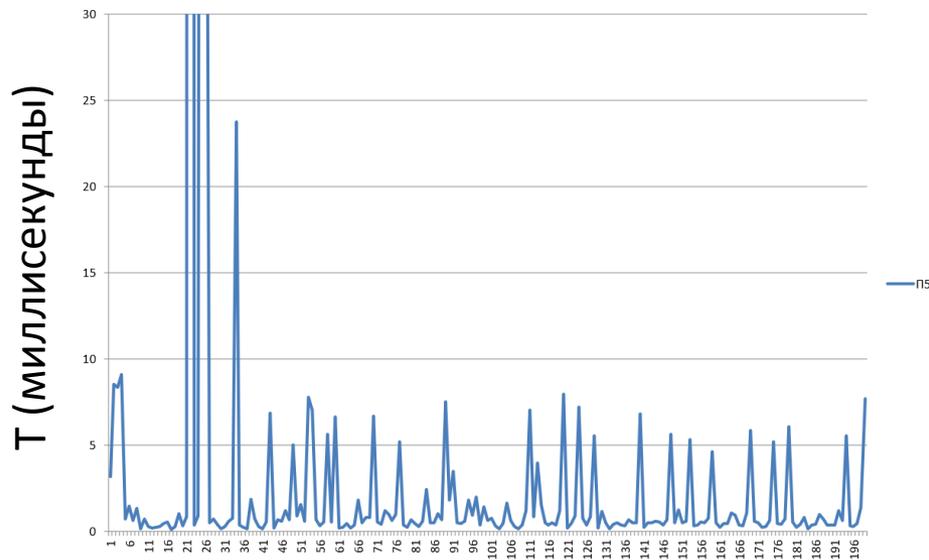
С Кэшем в оперативной памяти



Номер операции

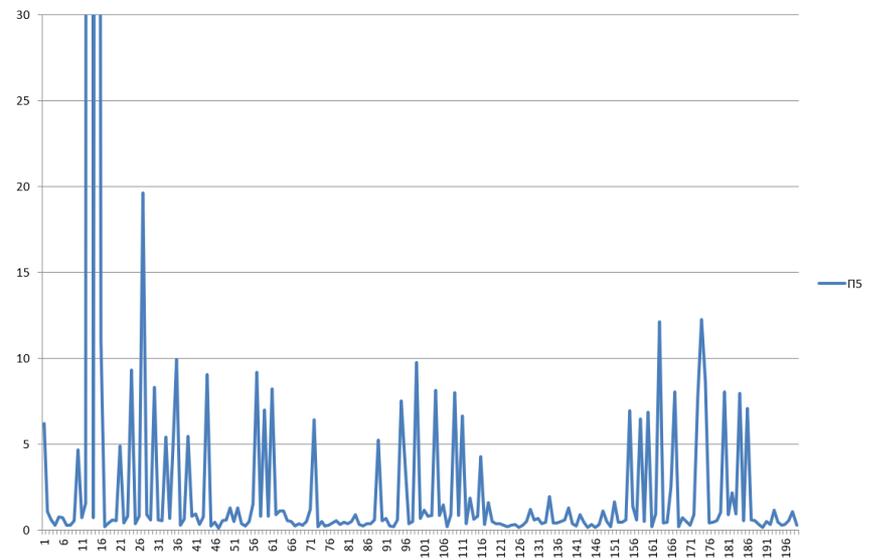
Время выполнения

Без Кэша



Номер операции

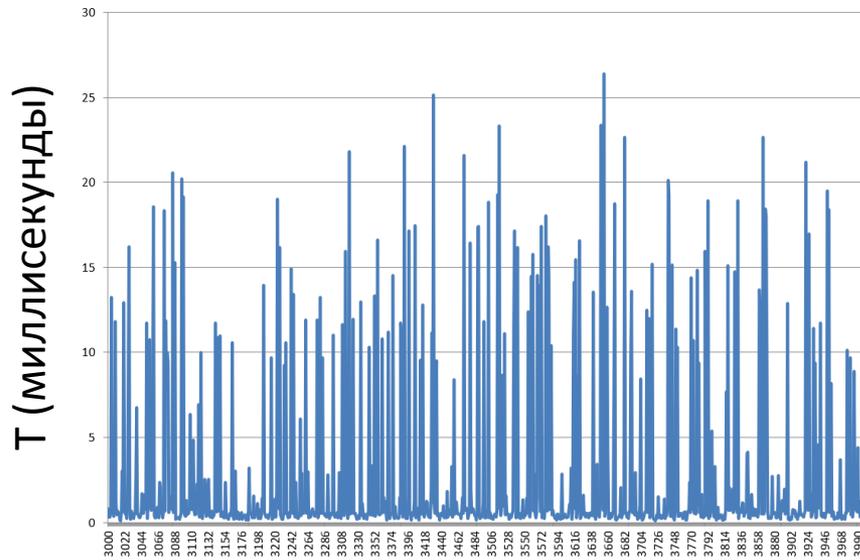
С Кэшем в оперативной памяти



Номер операции

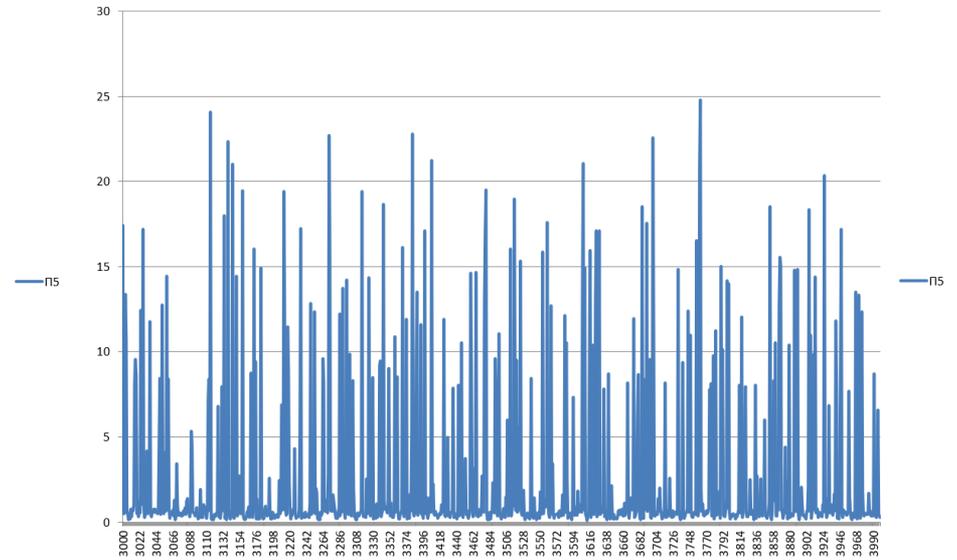
Время выполнения

Без Кэша



Номер операции

С Кэшем в оперативной памяти



Номер операции

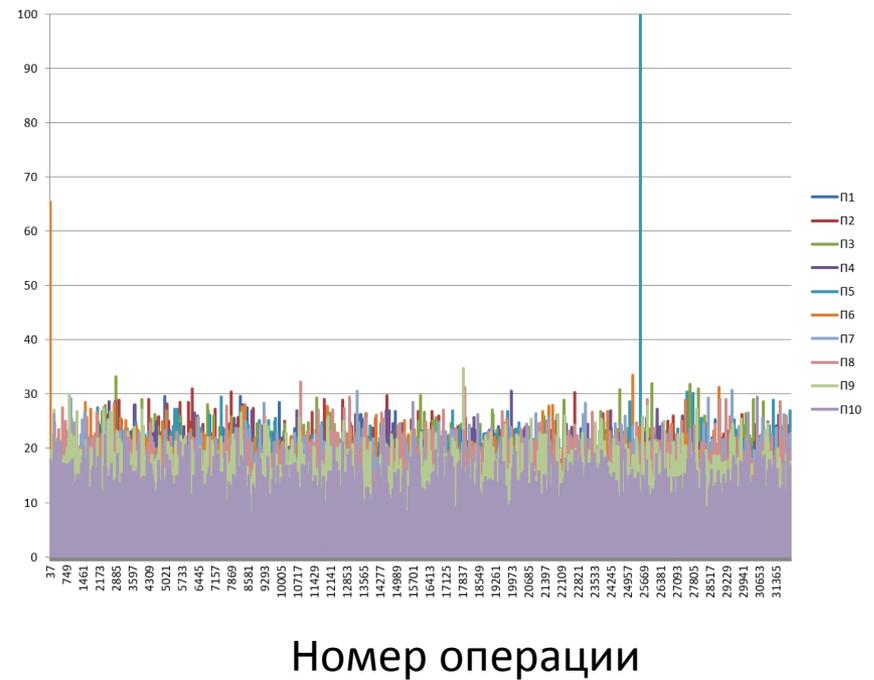
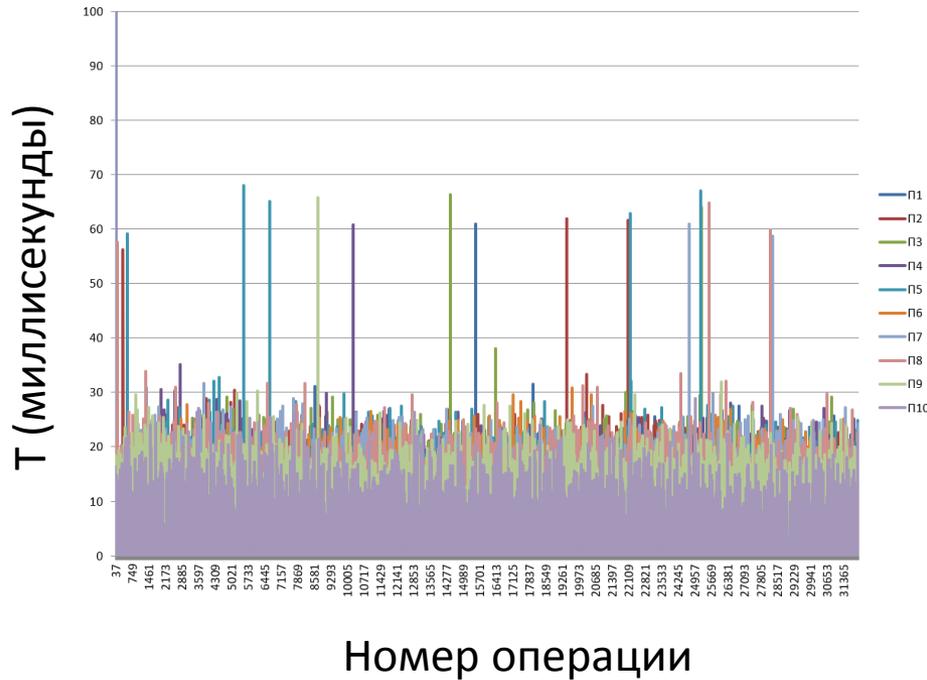
Время выполнения

Средняя длительность страничного отказа 20 миллисекунд

Средняя длительность страничного отказа 18 миллисекунд

Без Кэша

С Кэшем в оперативной памяти



Заключение

- С добавлением кэша в оперативной памяти средняя длительность страничных отказов уменьшилась в некоторых случаях с 20 до 15 миллисекунд и при этом пропали очень долгие страничные отказы, которые ранее доходили до 65 миллисекунд. Таким образом удалось получить повышение производительности системы до 20%

Дальнейшее развитие

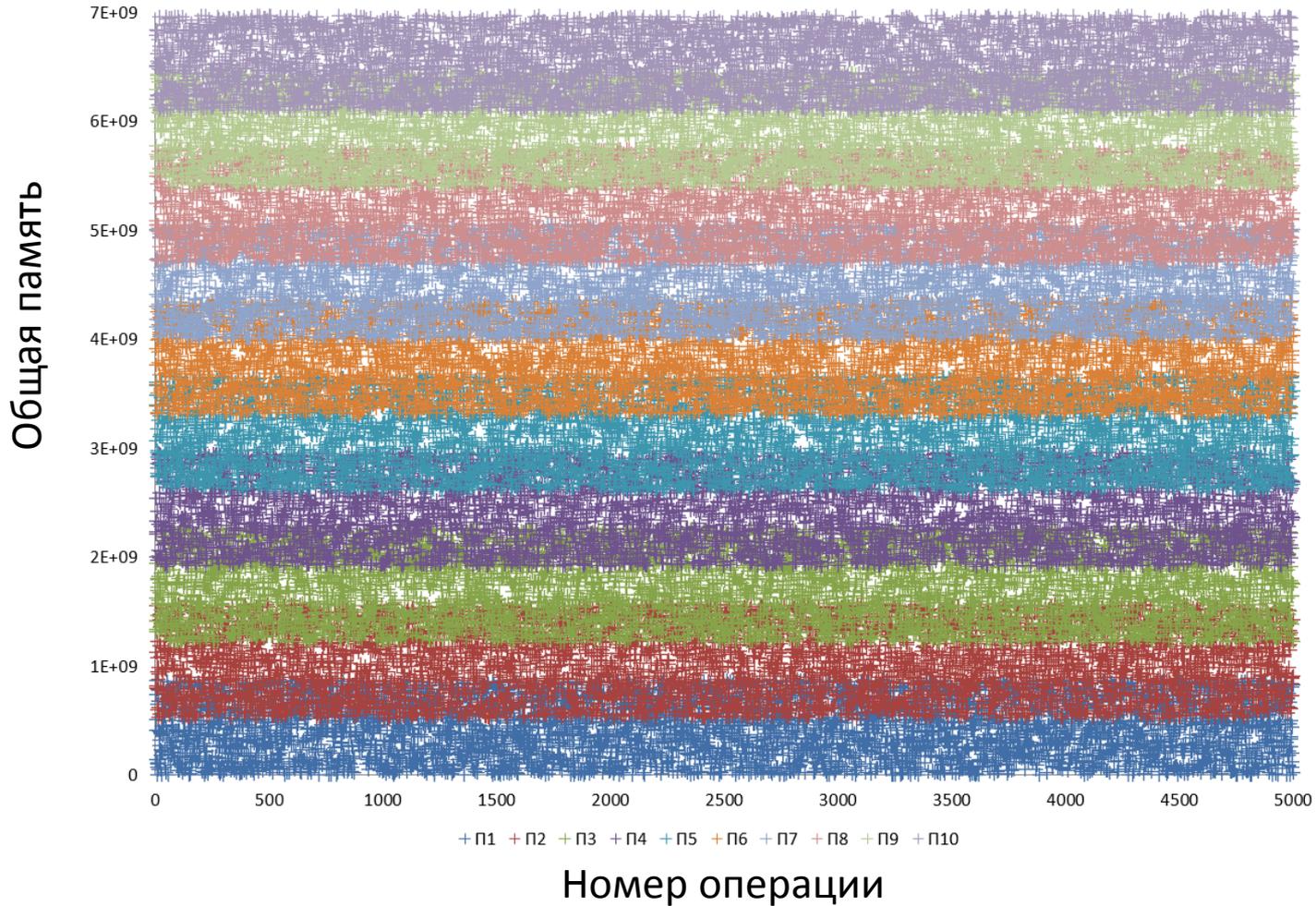
- Реализовать кэширование в ОЗУ в систему LuNA
- Добавить механизм предсказания основанный на машинном обучении

Спасибо за внимание!

Эксперимент 3:

50% доп. доп. загрузок страниц, 5%

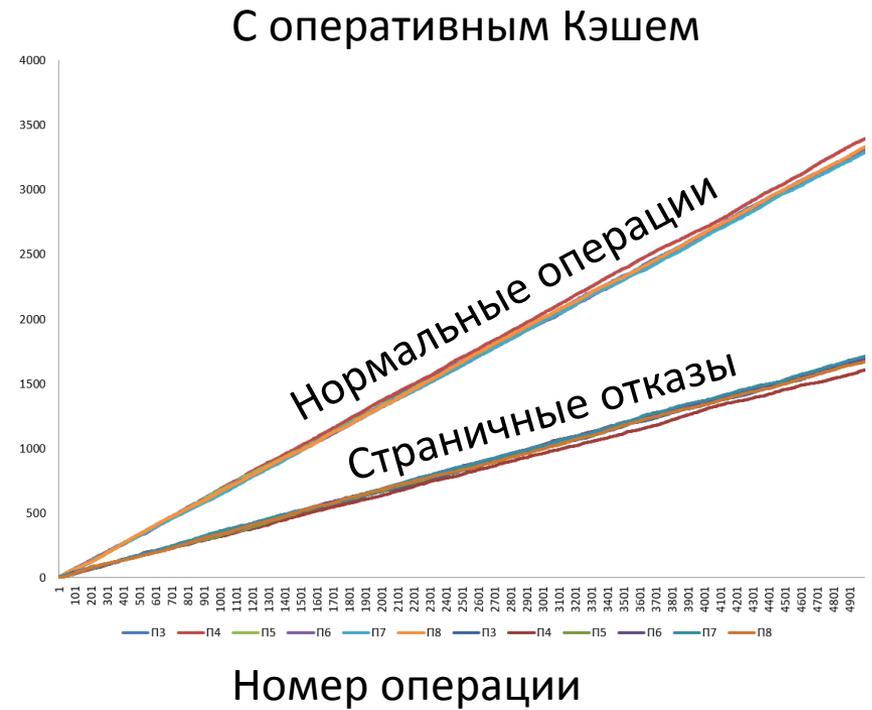
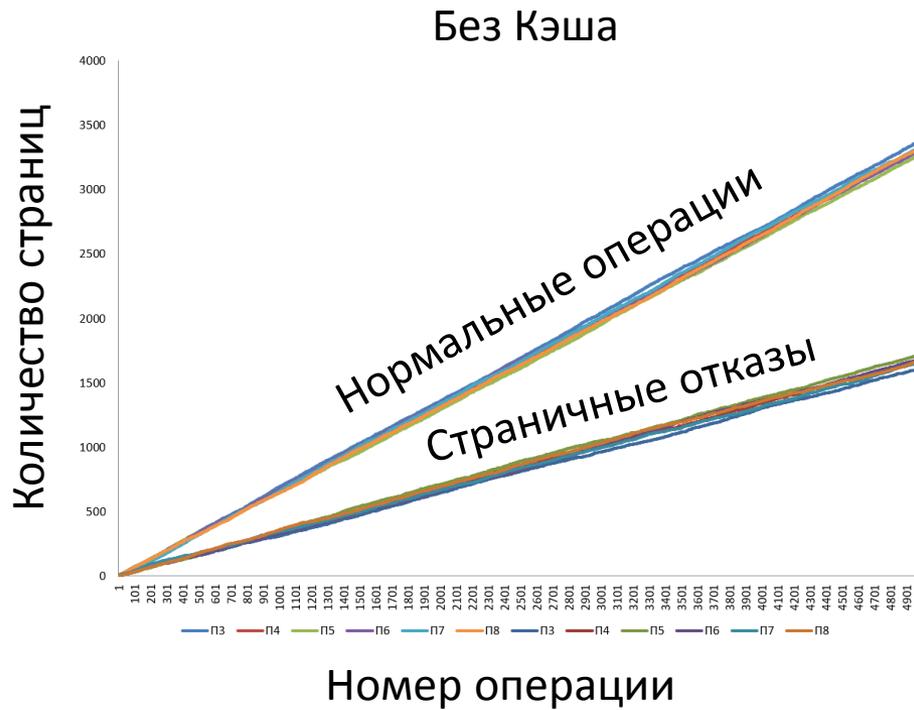
Кэш



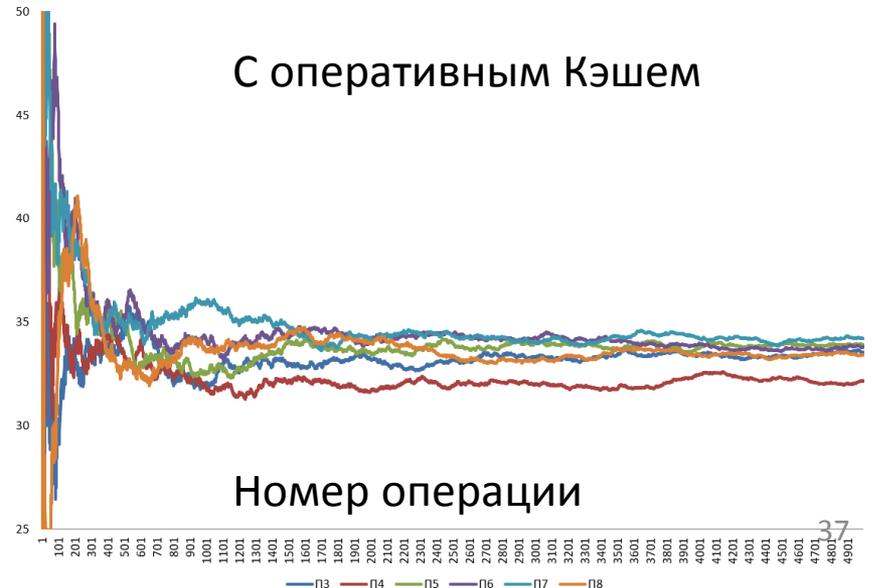
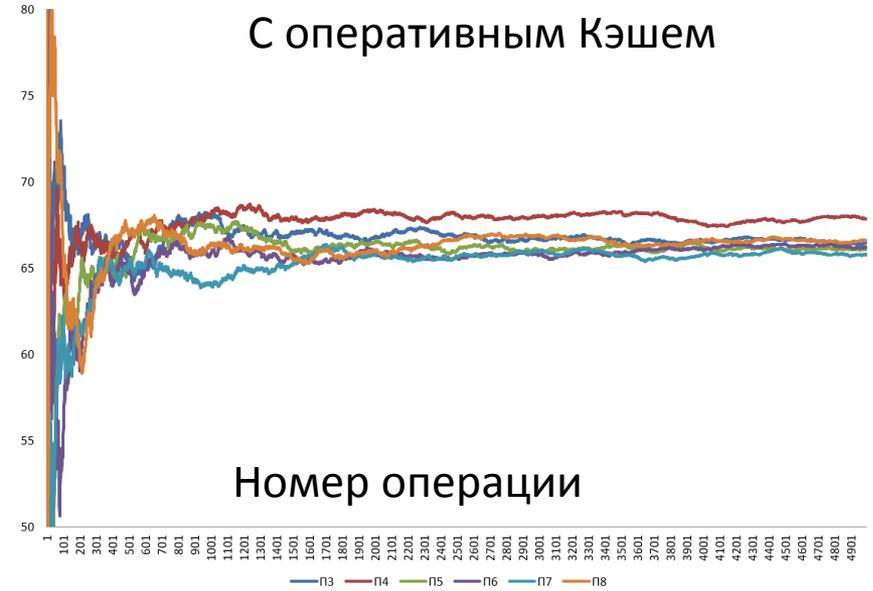
Нормально и Отказ страниц

Количество нормальных операций:
67157

Количество нормальных операций:
67657

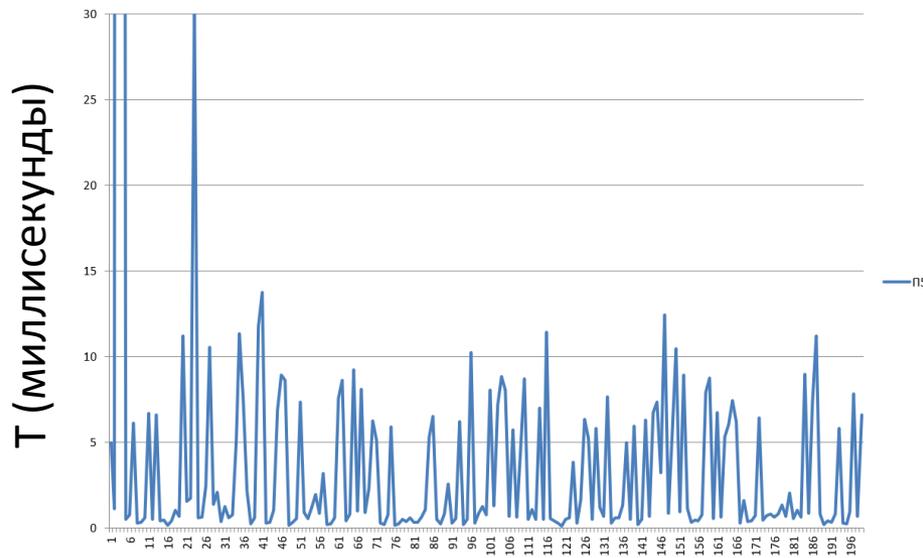


% Нормально, % Отказ



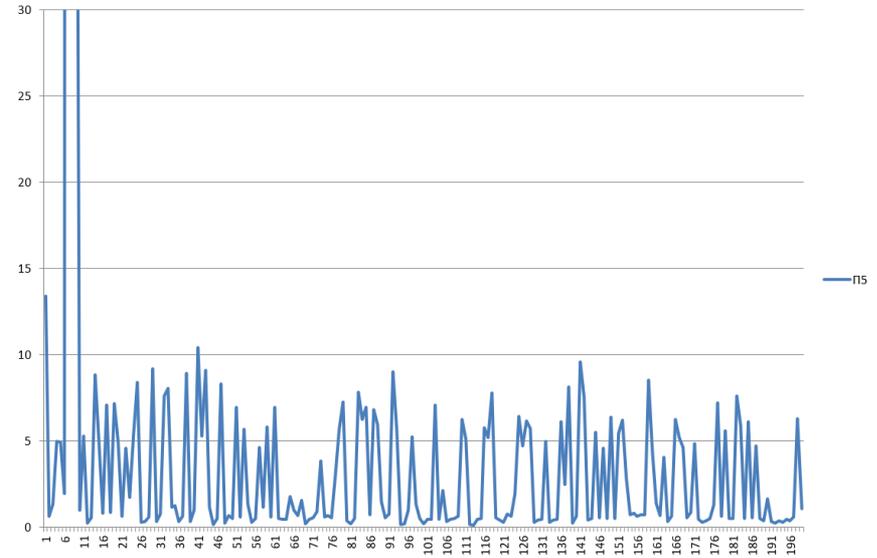
Время выполнения

Без Кэша



Номер операции

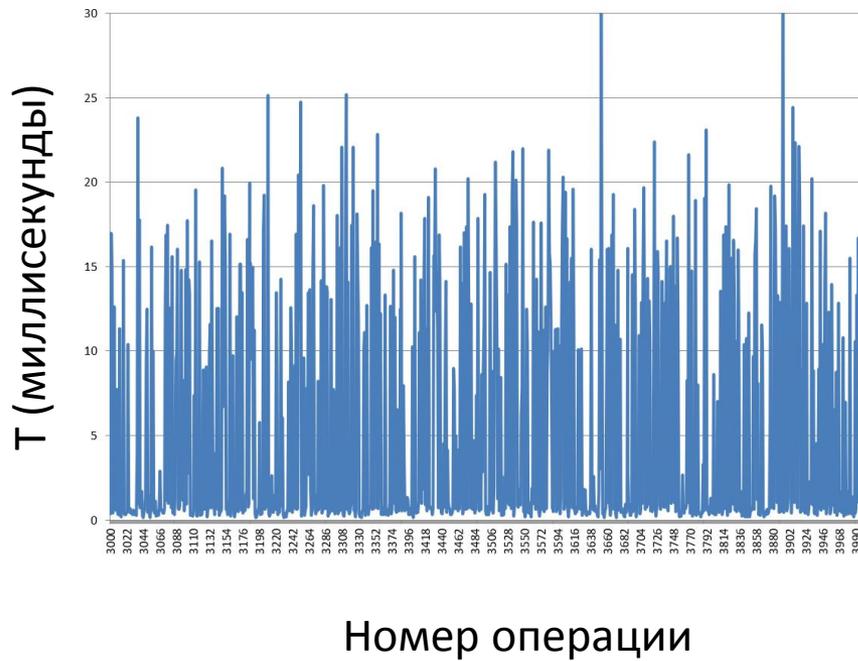
С оперативным Кэшем



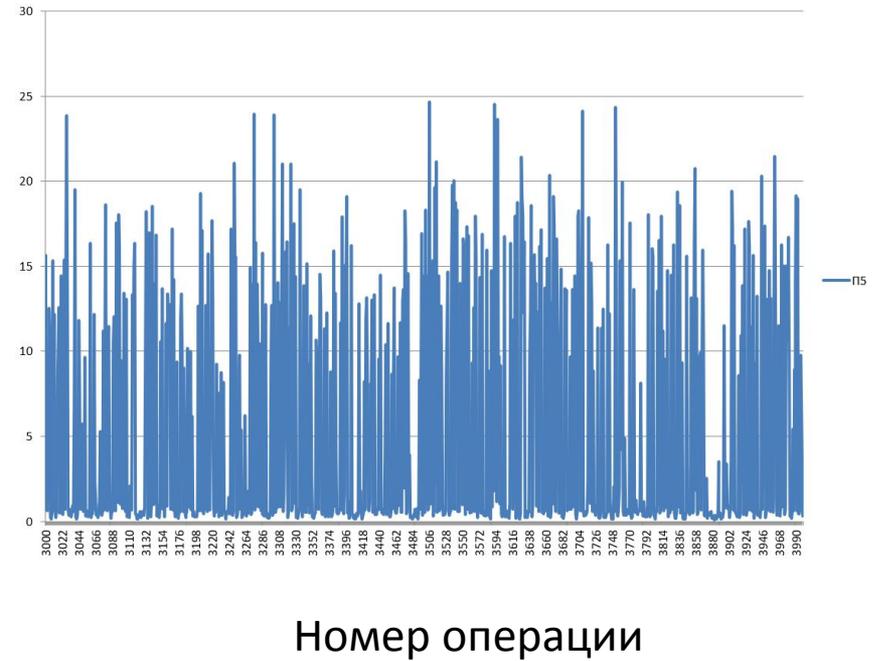
Номер операции

Время выполнения

Без Кэша

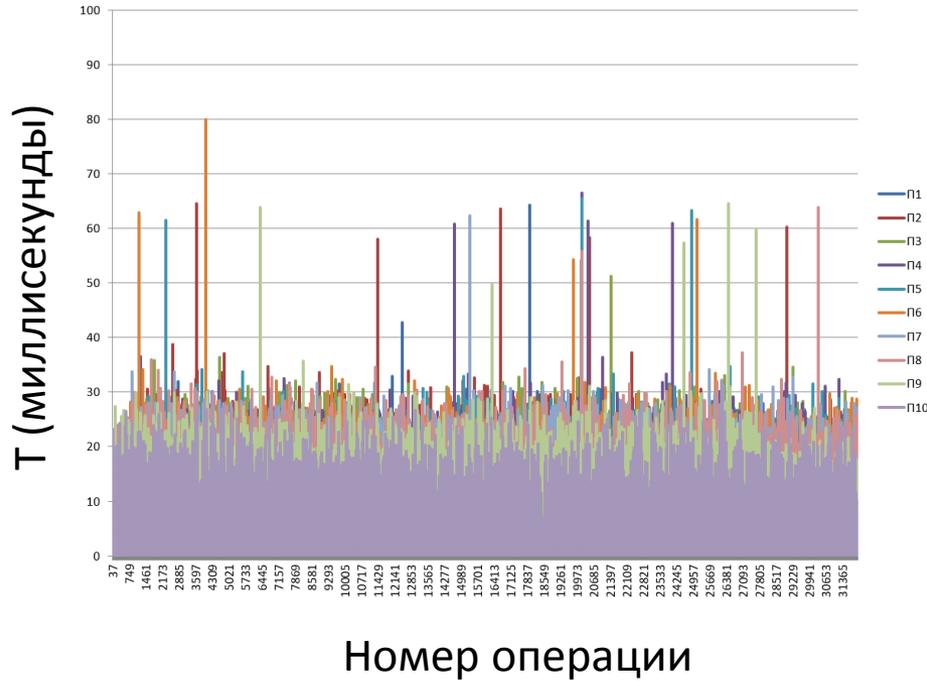


С оперативным Кэшем



Время выполнения

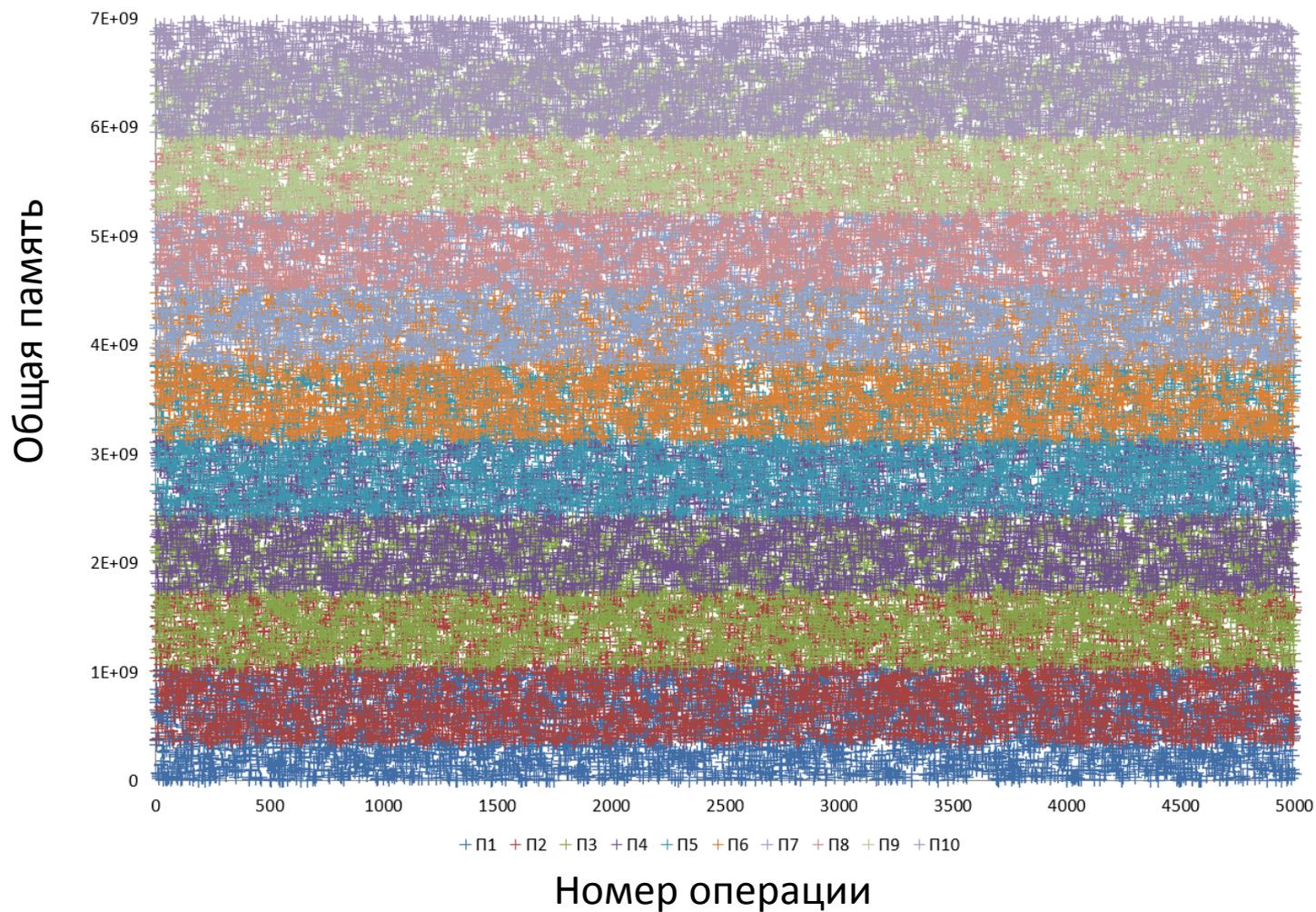
Без Кэша



С оперативным Кэшем



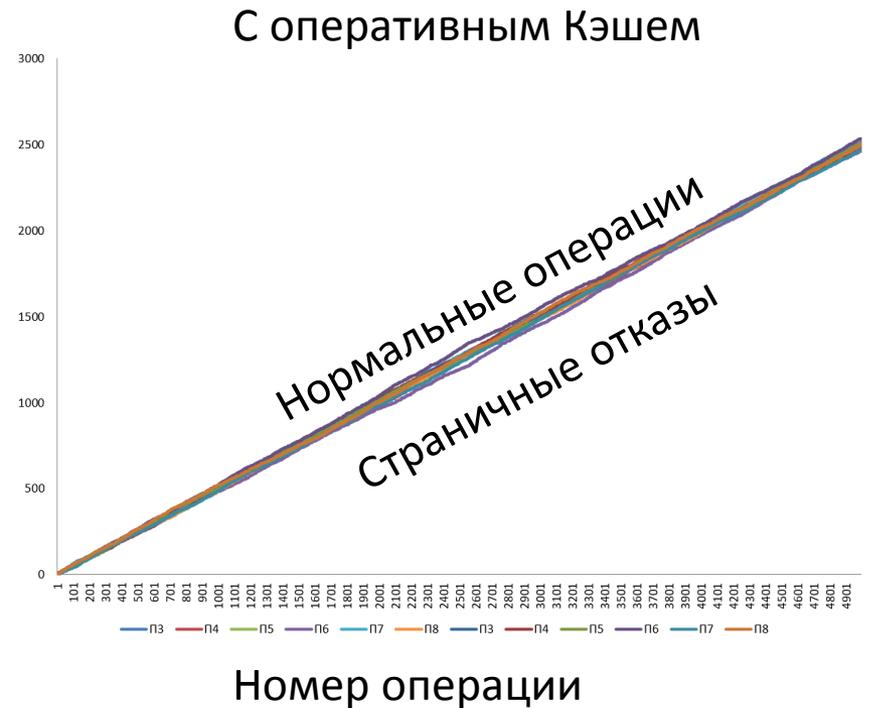
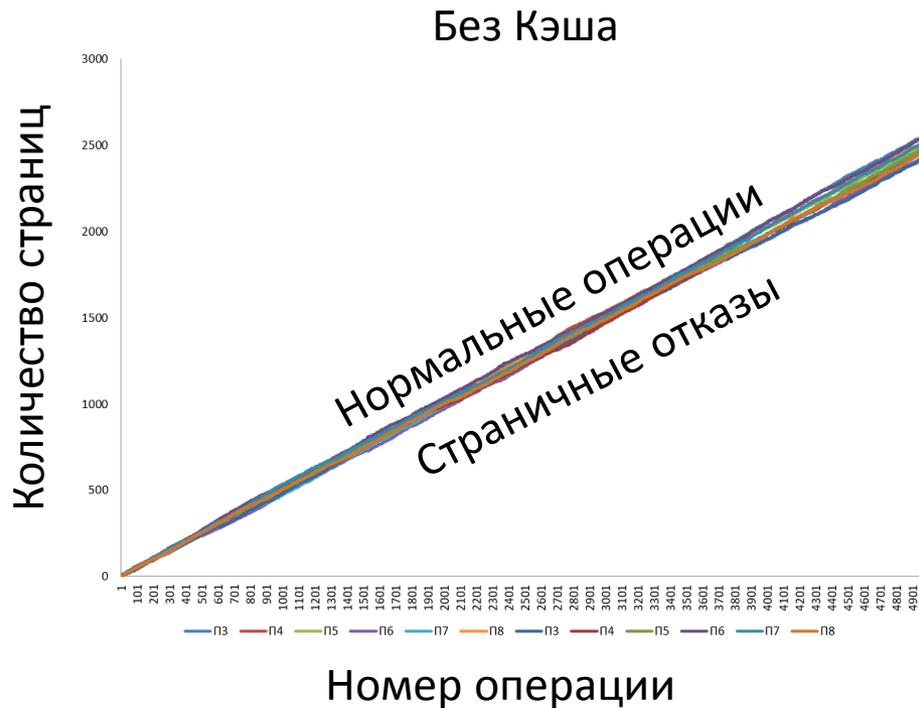
Эксперимент 4: 100% доп. загрузок страниц, 5% Кэш



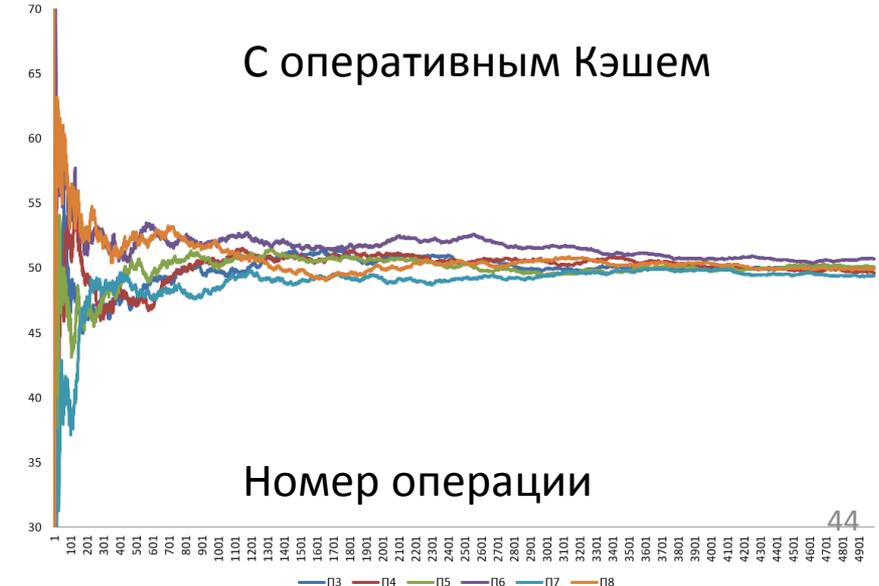
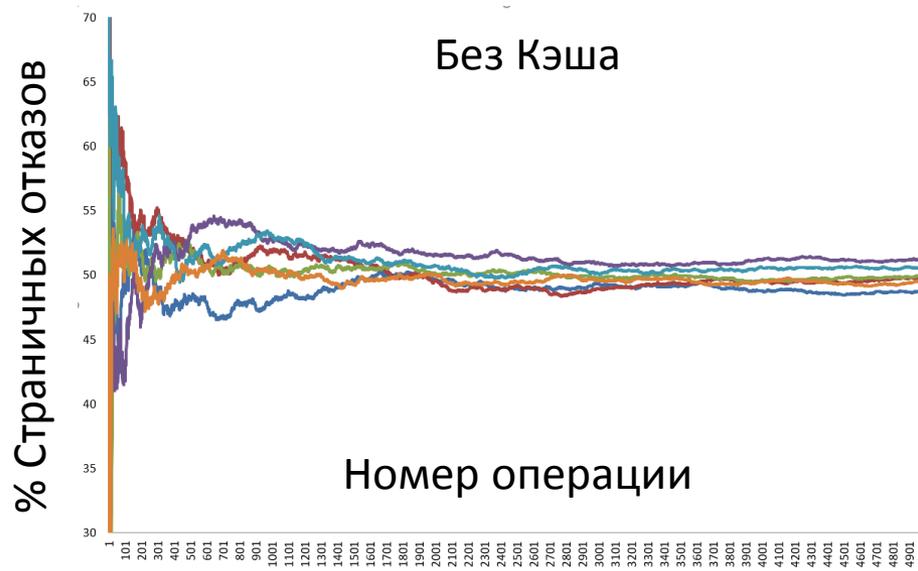
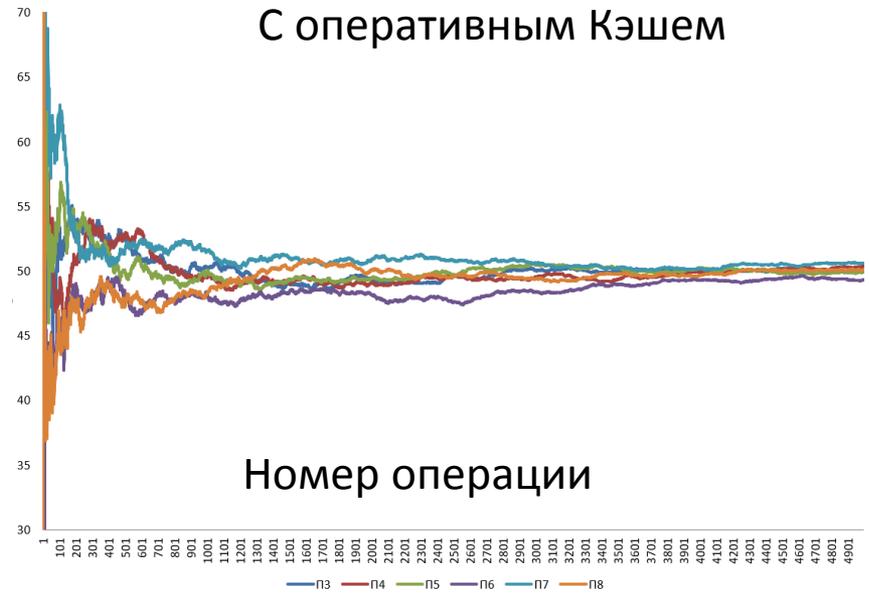
Нормально и Отказ страниц

Количество нормальных операций:
50203

Количество нормальных операций:
50435



% Нормально, % Отказ



Время выполнения

Без Кэша

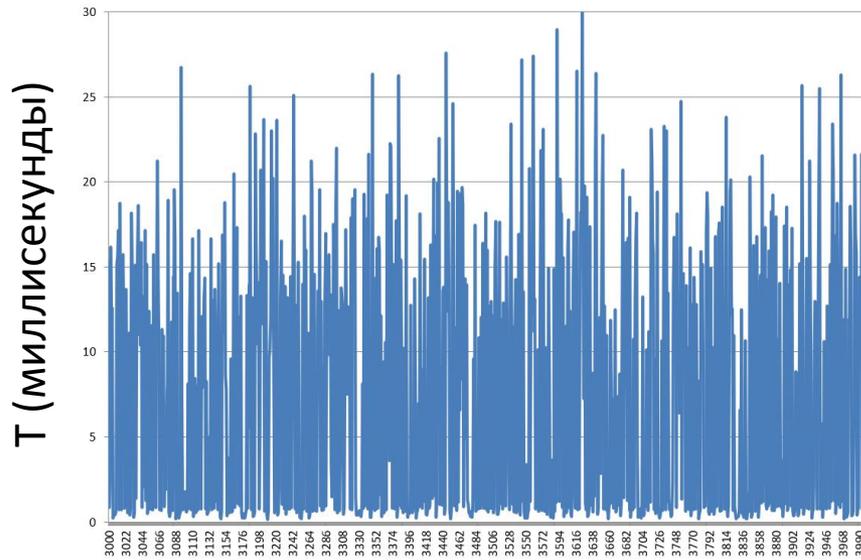


С оперативным Кэшем



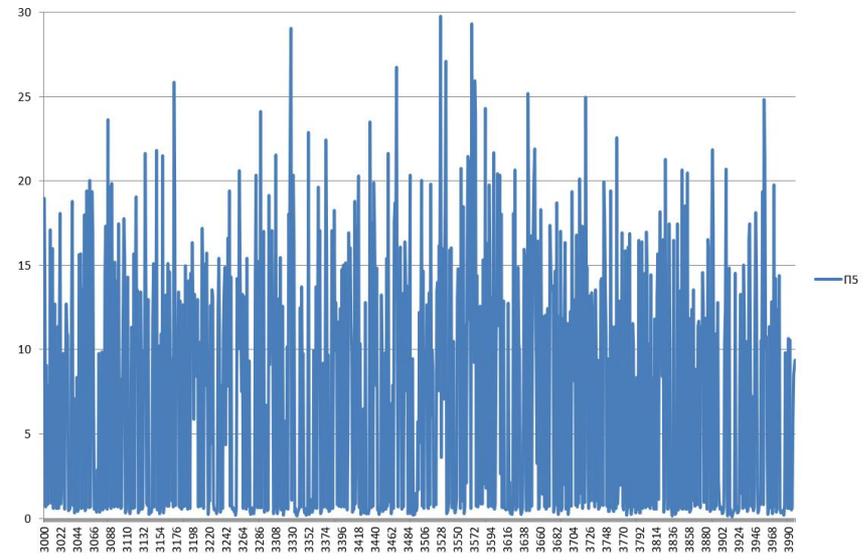
Время выполнения

Без Кэша



Номер операции

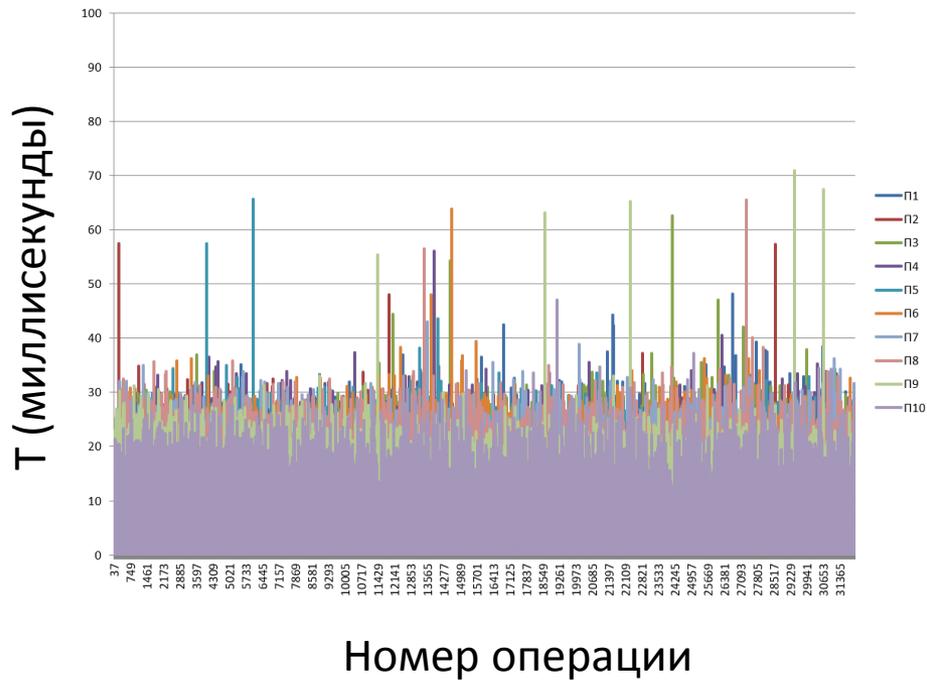
С оперативным Кэшем



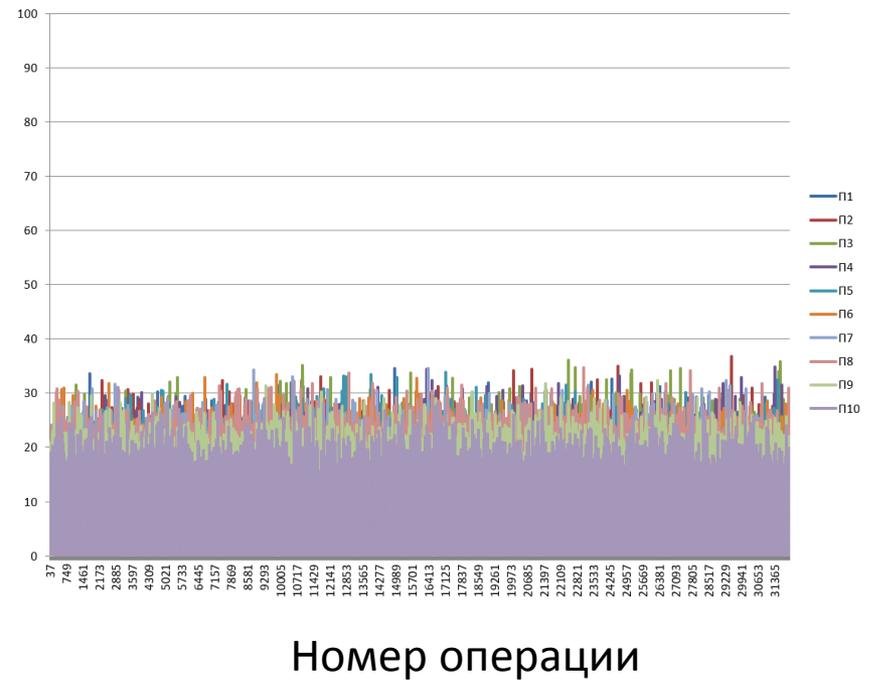
Номер операции

Время выполнения

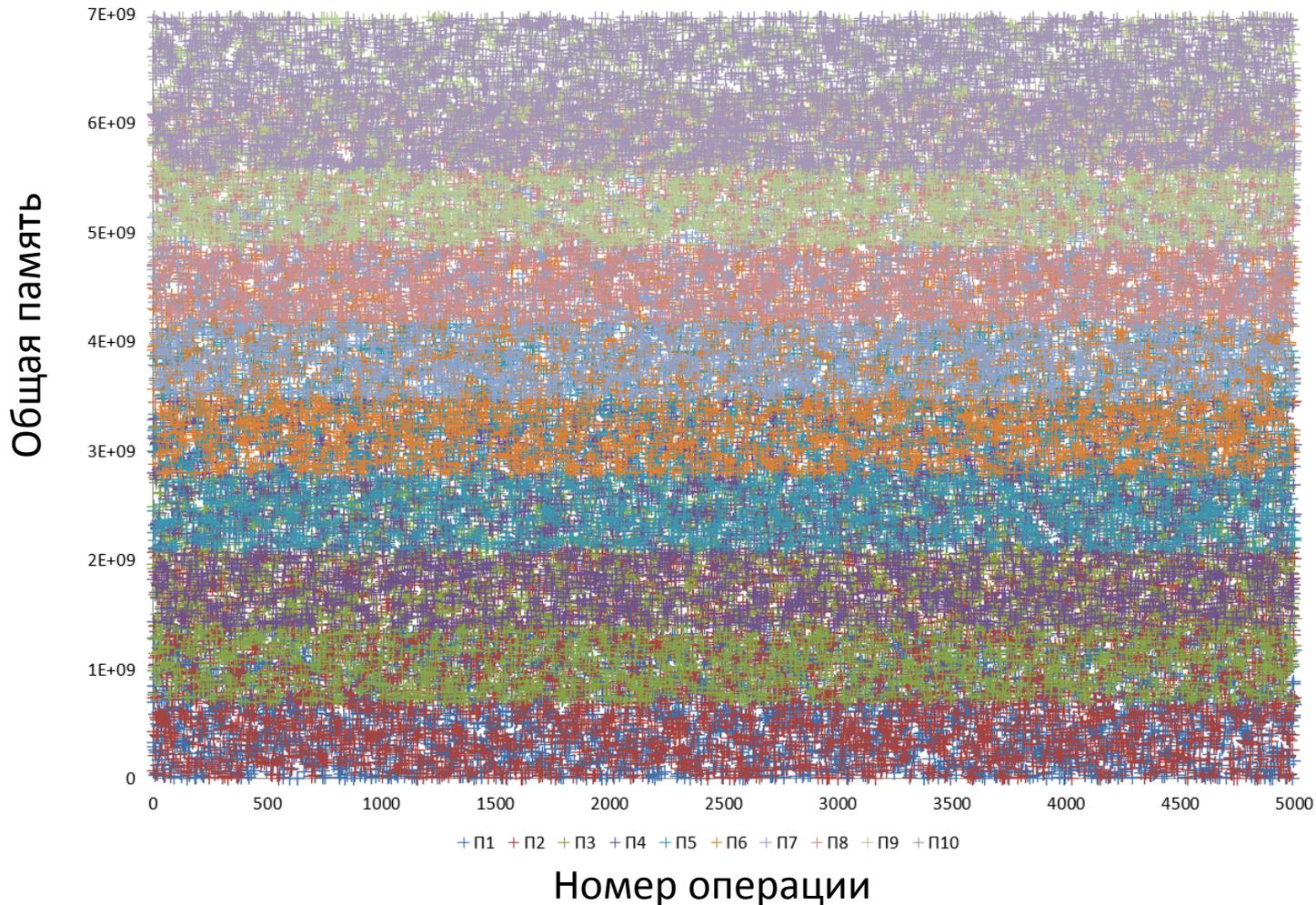
Без Кэша



С оперативным Кэшем



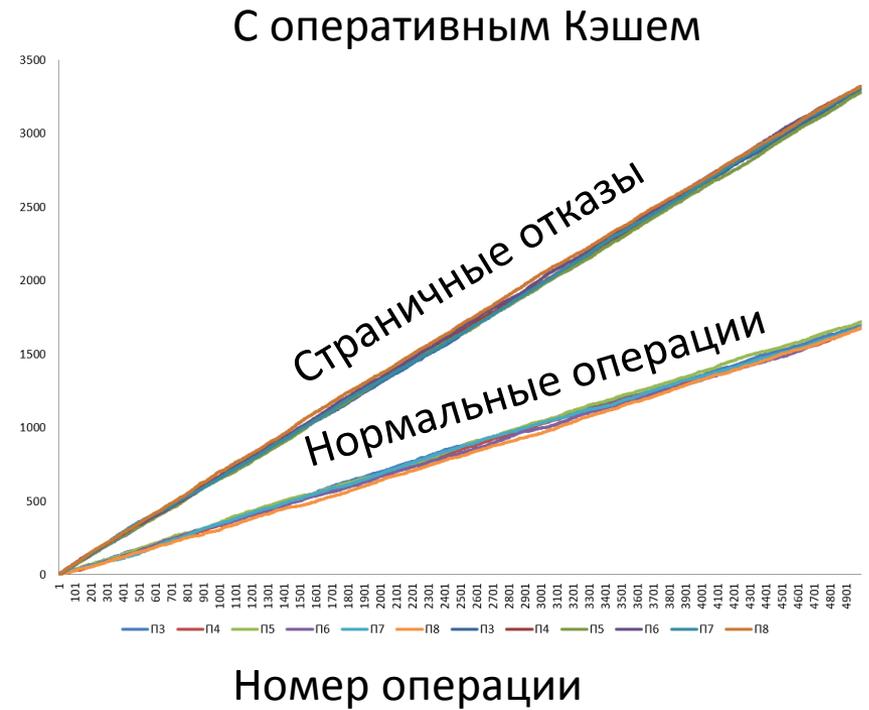
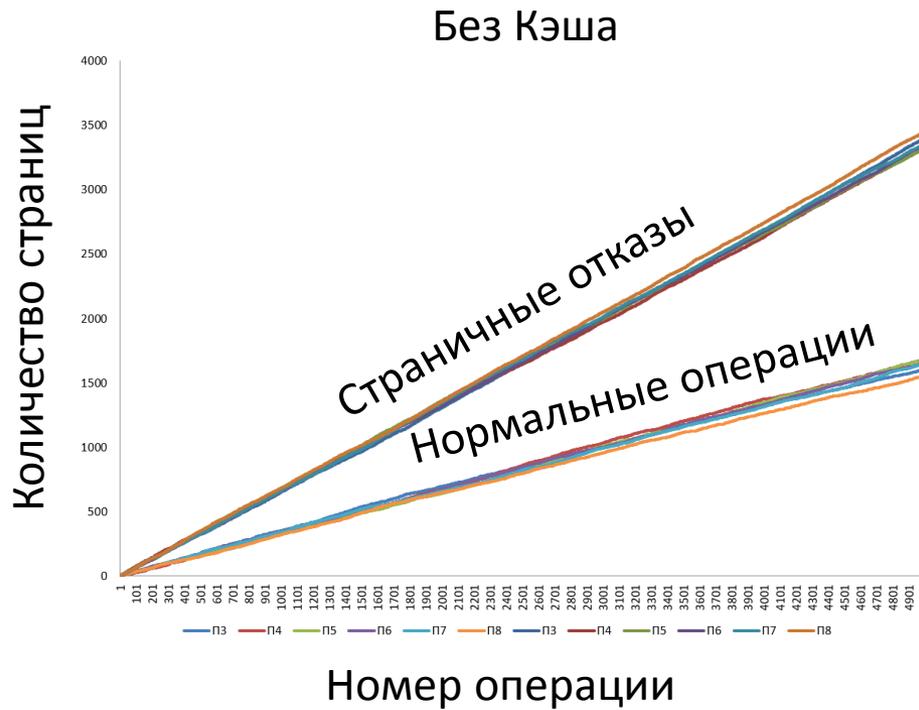
Эксперимент 5: 200% доп. загрузок страниц, 5% Кэш



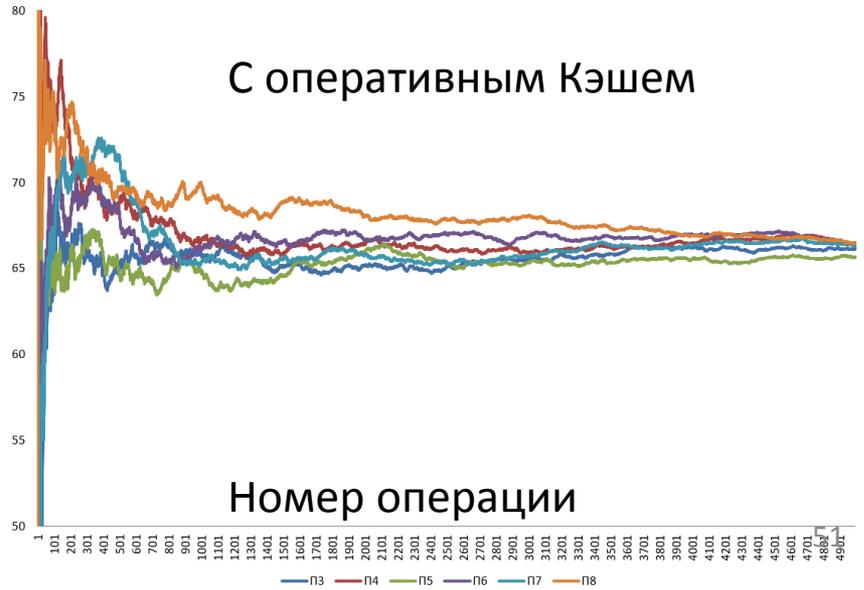
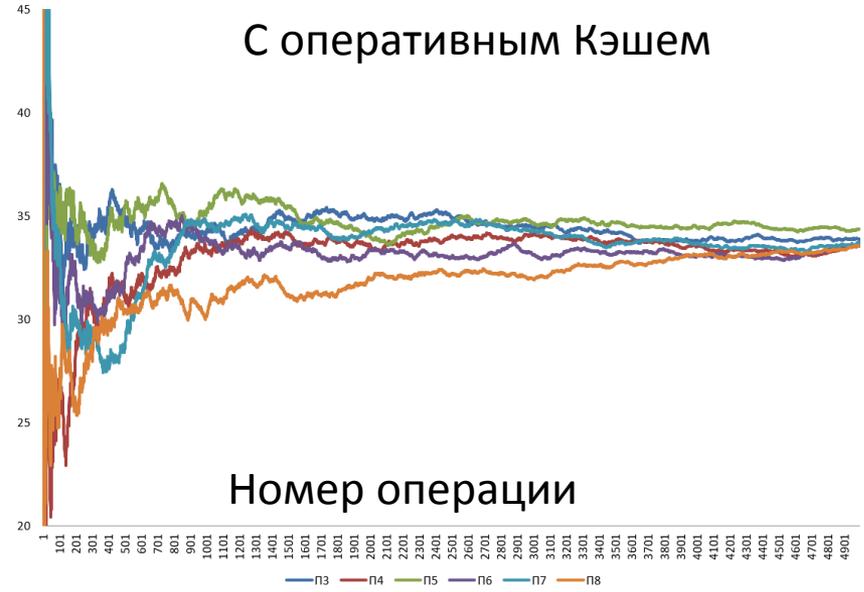
Нормально и Отказ страниц

Количество нормальных операций:
33373

Количество нормальных операций:
33586

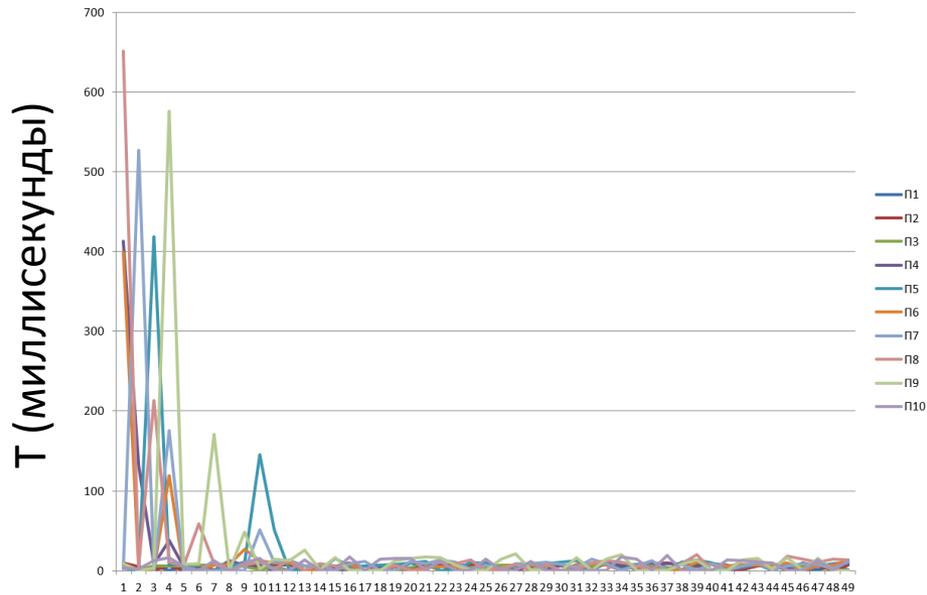


% Нормально, % Отказ



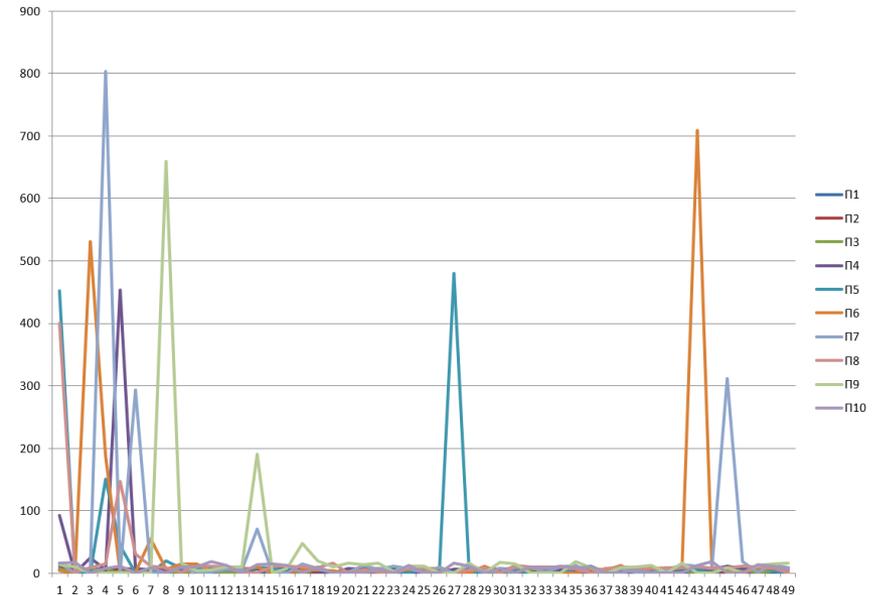
Время выполнения

Без Кэша



Номер операции

С оперативным Кэшем



Номер операции

Время выполнения

Без Кэша

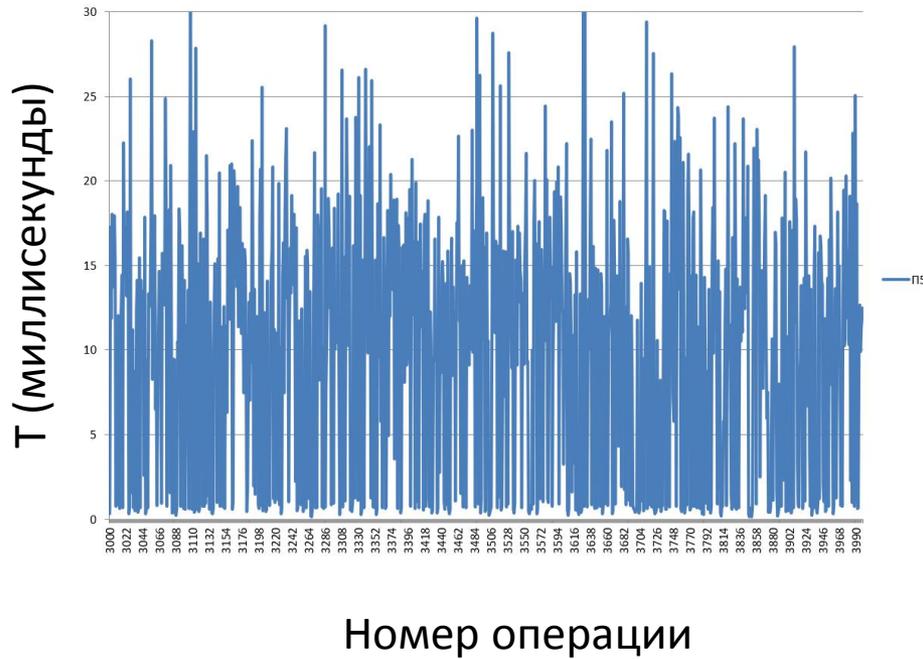


С оперативным Кэшем

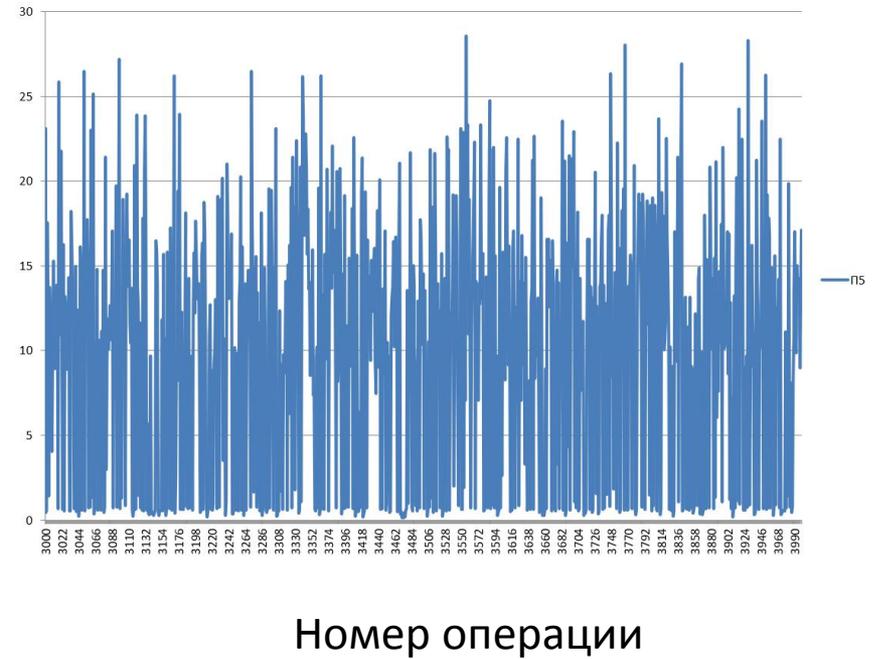


Время выполнения

Без Кэша

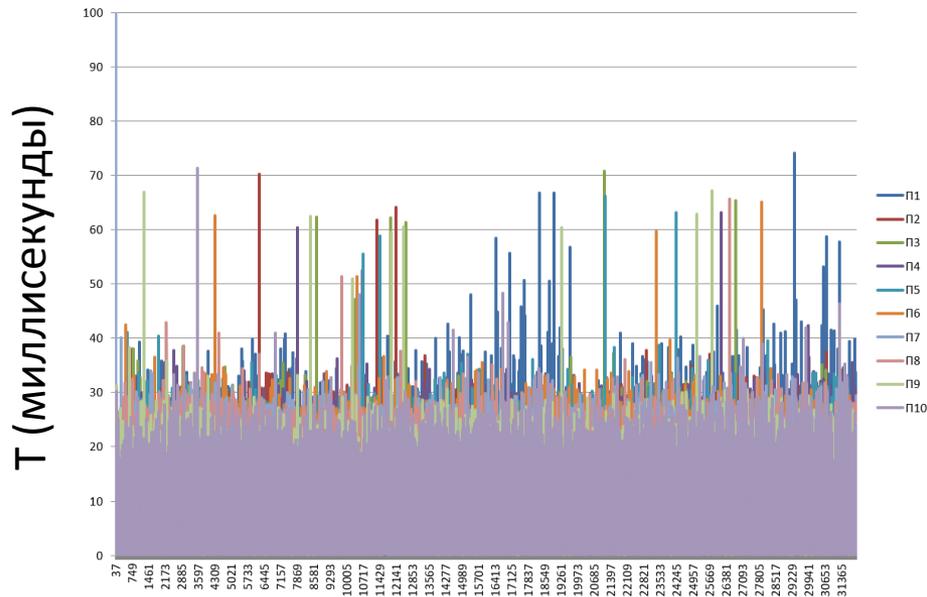


С оперативным Кэшем



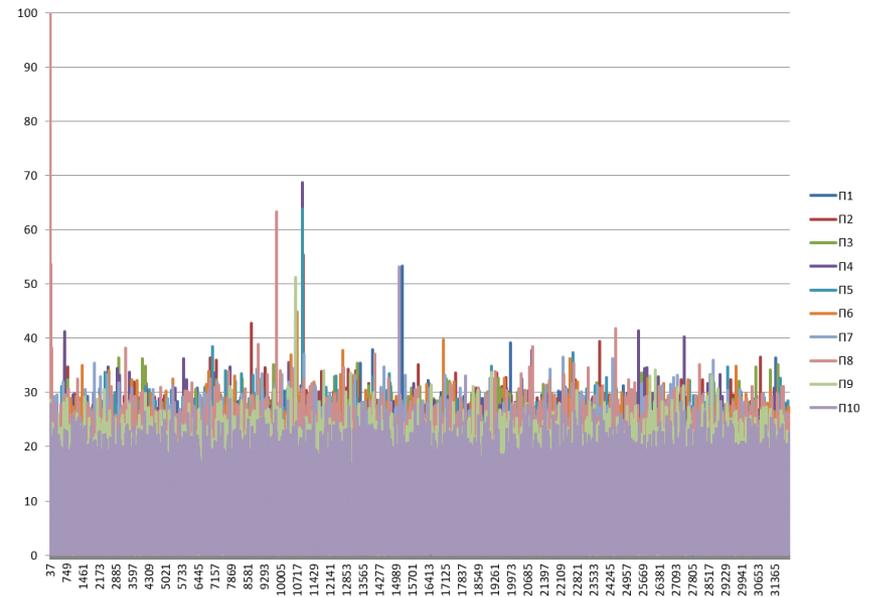
Время выполнения

Без Кэша



Номер операции

С оперативным Кэшем



Номер операции