

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Институт компьютерных наук и кибербезопасности
Высшая школа программной инженерии

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ
МЕТОДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
по дисциплине «Архитектура программных систем»

Выполнил
студент гр.5130904/30108 Золотухин А.А.
Руководитель Гончаров А.В.

Оглавление

1. ВВЕДЕНИЕ	3
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	3
3. МАППИНГ (БИЗНЕС-ДОМЕН)	3
4. АРХИТЕКТУРА ПРИЛОЖЕНИЯ	6
4.1. Диаграмма классов	6
4.2. Сиквенс-диаграмма	6
4.3. Flowchart процесса.....	7
5. ВЫВОД ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ.....	7
6. ОГРАНИЧЕНИЯ И ТРЕБУЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	7
7. МОДУЛЬНАЯ СТРУКТУРА	8
8. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ	8
8.1. Пошаговый режим (ОД3).....	8
8.2. Автоматический режим (OP1).....	9
9. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И АНАЛИЗ	10
9.1. Стоимостные параметры системы	10
9.2. Сравнительный анализ конфигураций	10
9.3. Анализ результатов	11
9.4. Выбор оптимальной конфигурации.....	11
10. ВЫВОД.....	12

1. ВВЕДЕНИЕ

Целью курсового проекта является разработка имитационной модели вычислительной системы, построенной по принципу системы массового обслуживания (СМО). Модель создаётся для исследования характеристик реальной банковской системы верификации транзакций в условиях переменной нагрузки. В работе используется подход моделирования по особым событиям, реализованный на языке Python.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Вариант №9: ИБ ИЗ1 ПЗ2 Д1032 Д10О5 Д2П1 Д2Б5 ОР1 ОД3

Расшифровка:

ИБ — бесконечный источник заявок

ИЗ1 — пуассоновский закон распределения времени между заявками

ПЗ2 — равномерный закон распределения времени обслуживания

Д1032 — постановка в буфер в порядке поступления (FIFO)

Д10О5 — отказ вновь пришедшей заявке при переполнении буфера

Д2П1 — приоритет по номеру прибора (сервера)

Д2Б5 — приоритет по номеру источника с пакетной обработкой

ОР1 — автоматический режим (сводная таблица)

ОД3 — пошаговый режим (временные диаграммы)

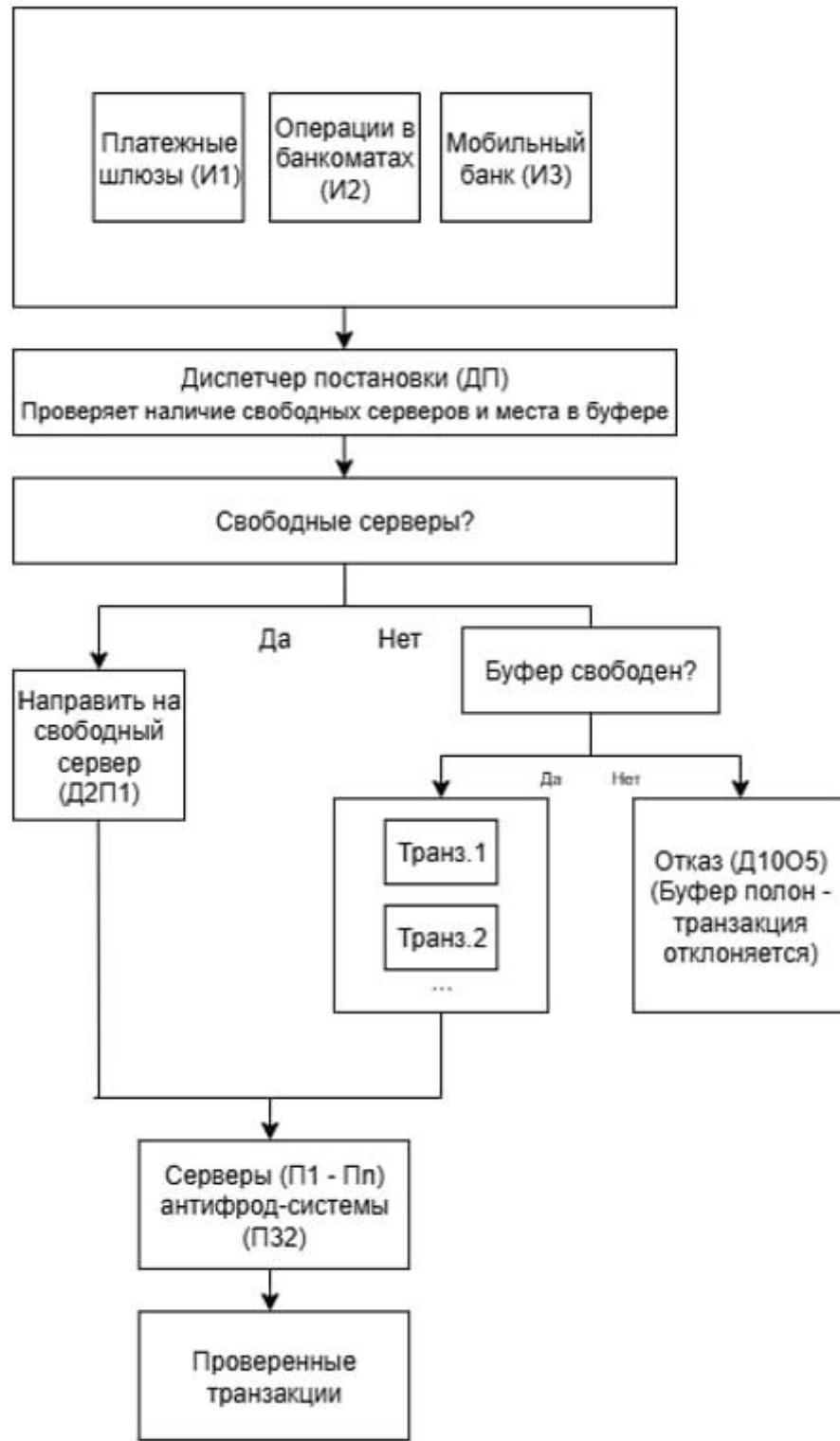
3. МАППИНГ (БИЗНЕС-ДОМЕН)

Система приоритетной верификации транзакций в процессинговом центре банка

Элемент модели	Реализация в бизнес-домене
ИБ	Бесконечный поток финансовых транзакций от различных каналов (платежные шлюзы, банкоматы, мобильный банк).
ИЗ1	Пуассоновский закон распределения времени между транзакциями. Транзакции приходят случайным образом, что отражает реальную нагрузку (например, пики в обеденное время или вечером).
ПЗ2	Равномерный закон распределения времени обработки. Время проверки одной транзакции варьируется в заданном диапазоне (напр., от 50 до 200 мс), так как сложность проверки зависит от суммы, типа операции и истории клиента.

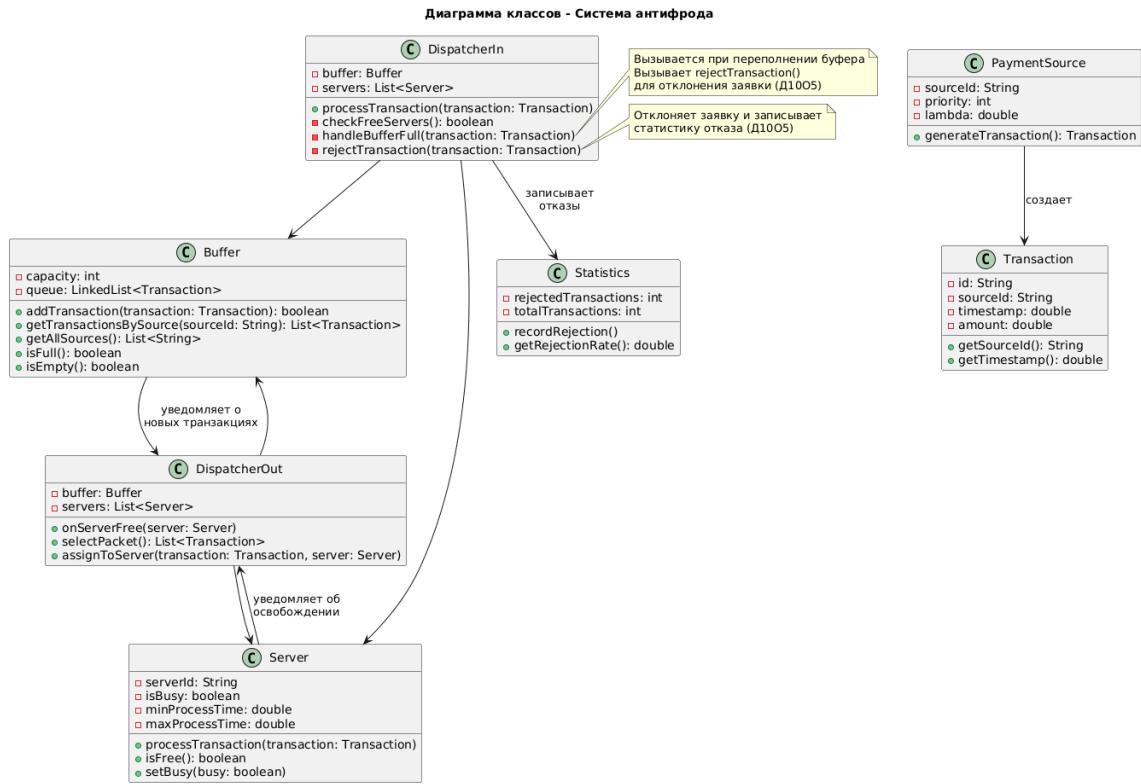
Элемент модели	Реализация в бизнес-домене
Д1032	Дисциплина буферизации: постановка в буфер в порядке поступления. Транзакции становятся в очередь на проверку строго в том порядке, в котором они поступили в систему.
Д10О5	Дисциплина отказа: отказ вновь пришедшей заявке. В моменты экстремальной нагрузки (кибератака, распродажи) при заполнении всех очередей новые транзакции не принимаются и получают статус «Отклонено. Система перегружена». Обоснование: Целостность и безопасность системы важнее обработки 100% транзакций. Лучше временно отказать, чем пропустить мошенническую операцию из-за недостатка вычислительных ресурсов на глубокий анализ.
Д2Б5	Дисциплина выбора заявки: приоритет по номеру источника с пакетной обработкой. Транзакции динамически группируются по каналу поступления или типу риска (например, «онлайн-платежи», «транзакции по карте»). Когда освобождается сервер, он обрабатывает пакет всех транзакций от самого приоритетного на данный момент источника.
Д2П1	Дисциплина выбора прибора: приоритет по номеру сервера. Сначала транзакции направляются на самый производительный сервер (Сервер 1), затем на Сервер 2 и т. д.
ОР1	Автоматический режим: отображение результатов в виде сводной таблицы (вероятность отказа, среднее время пребывания, загрузка серверов).
ОД3	Пошаговый режим: отображение в виде временных диаграмм, визуализирующих процесс поступления, постановки в очередь, пакетной обработки и отказов.
Заявка	Финансовая транзакция (платеж, перевод, операция по карте), поступившая от клиента банка через один из каналов (платежный шлюз, банкомат, мобильное приложение), требующая проверки системой антифлага на предмет мошенничества перед ее окончательным проведением.

Схема:

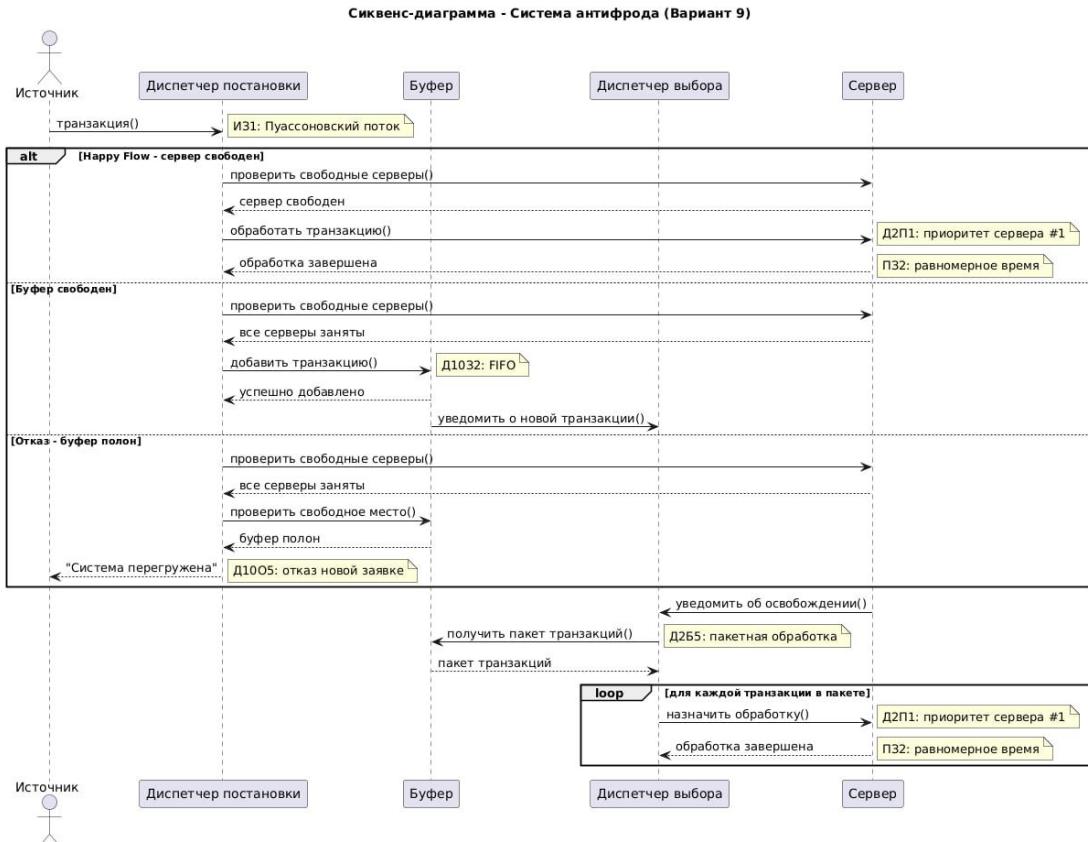


4. АРХИТЕКТУРА ПРИЛОЖЕНИЯ

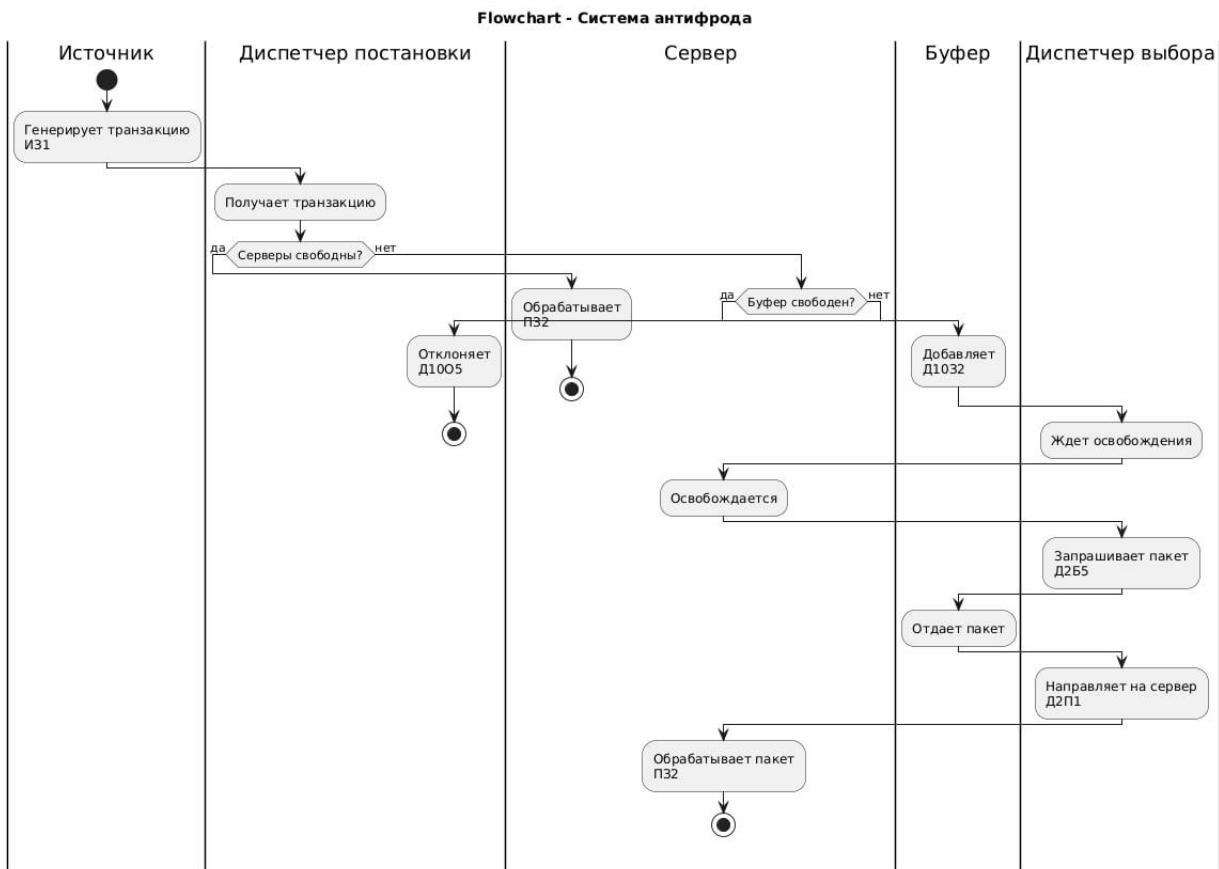
4.1. Диаграмма классов



4.2. Сиквенс-диаграмма



4.3. Flowchart процесса



5. ВЫВОД ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Пуассоновский поток (ИЗ1):

Время между заявками распределено экспоненциально:

$f(t) = \lambda * e^{-\lambda t}$, где λ — интенсивность потока.

Равномерное распределение (ПЗ2):

Время обслуживания: $T_{обсл} \in [a, b]$ с плотностью $f(t) = 1/(b-a)$.

6. ОГРАНИЧЕНИЯ И ТРЕБУЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Вероятность отказа ($P_{отк}$) $\leq 10\%$

Загрузка приборов (коэффициент использования) $\geq 90\%$

Время пребывания в системе: не регламентировано, но минимизируется

Количество источников: 10

Количество серверов: 3-6

Размер буфера: 8-30 мест

Формула для определения количества реализаций:

$$N = (t_{\alpha^2} \times (1-p)) / (p \times \delta^2)$$

где $t_{\alpha} = 1.643$ (для $\alpha=0.9$), $\delta=0.1$ — относительная точность

7. МОДУЛЬНАЯ СТРУКТУРА

Программа реализована на Python и содержит следующие модули:

Модуль	Назначение
entities.py	Классы Transaction, PaymentSource, Server
buffer.py	Буфер FIFO с фиксированной ёмкостью
dispatchers.py	Диспетчеры постановки (DispatcherIn) и выбора (DispatcherOut)
statistics.py	Сбор и расчёт статистики
simulation.py	Основной алгоритм симуляции (метод особых событий)
distributions.py	Генерация случайных величин по заданным законам

8. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

8.1. Пошаговый режим (ОДЗ)

```
Шаг  0 [Enter/q/a] >>>

=====
ШАГ  0 | Время:   0.06 | Транзакций:   1 | Отказов:   0 | Р(отк):   0.0%
=====

БУФЕР (Д1032 - FIFO):
[██████] 0/8
(пусто)

СЕРВЕРЫ (Д2П1 - приоритет по номеру):
S1      - ● Занят      → S2_1      (от S2)
S2      - ○ Свободен
S3      - ○ Свободен
S4      - ○ Свободен

КАЛЕНДАРЬ СОБЫТИЙ (последние 2):
=====

Время   Событие          Транзакция   Детали
0.06    SERVICE_START    S2_1         Начало обработки (ожидание: 0.00)
0.06    SERVED_DIRECT    S2_1         Направлена на сервер S1

Шаг  1 [Enter/q/a] >>>

=====
ШАГ  1 | Время:   0.07 | Транзакций:   2 | Отказов:   0 | Р(отк):   0.0%
=====

БУФЕР (Д1032 - FIFO):
[██████] 0/8
(пусто)

СЕРВЕРЫ (Д2П1 - приоритет по номеру):
S1      - ● Занят      → S2_1      (от S2)
S2      - ● Занят      → S1_1      (от S1)
S3      - ○ Свободен
S4      - ○ Свободен

КАЛЕНДАРЬ СОБЫТИЙ (последние 4):
=====

Время   Событие          Транзакция   Детали
0.06    SERVICE_START    S2_1         Начало обработки (ожидание: 0.00)
0.06    SERVED_DIRECT    S2_1         Направлена на сервер S1
0.07    SERVICE_START    S1_1         Начало обработки (ожидание: 0.00)
0.07    SERVED_DIRECT    S1_1         Направлена на сервер S2
```

8.2. Автоматический режим (OP1)

шаг 3 [Enter/q/a] >> a
Переход к автоматическому режиму...

РЕЖИМ 2: АВТОМАТИЧЕСКИЙ (OP1 - сводные таблицы)
Выполняется симуляция с точностью 10% и доверительной вероятностью 90%...

```
[ABTO] Начальный прогон: 100 транзакций
[ABTO] На основе Р(отк)=0.001 требуется 269674 транзакций
[ABTO] Итерация 1: 500 дополнительных транзакций
[ABTO] Текущая ошибка: 10148.4%, требуется больше транзакций
[ABTO] Итерация 2: 500 дополнительных транзакций
[ABTO] Текущая ошибка: 15.6%, требуется больше транзакций
[ABTO] Итерация 3: 500 дополнительных транзакций
[ABTO] Текущая ошибка: 11.6%, требуется больше транзакций
[ABTO] Итерация 4: 500 дополнительных транзакций
[ABTO] Достигнута требуемая точность: 3.1% < 10.0%
[ABTO] Финальная симуляция: 2100 транзакций, Р(отк)=0.074
```

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ (OP1 - сводная таблица результатов)

ПАРАМЕТРЫ СИМУЛЯЦИИ:

- Общее время: 1000.00
- Транзакций обработано: 44983
- Отказов: 4153
- Вероятность отказа: 9.2%

ТАБЛИЦА 1: ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ

Источник	Сген.	Отк.	Ротк, %	Тпред	Тож	Тобс	Дож	Добс
S1	10036	934	9.3	0.12	0.03	0.09	0.00	0.00
S10	2007	199	9.9	0.69	0.59	0.09	0.33	0.00
S2	10085	937	9.3	0.13	0.04	0.09	0.00	0.00
S3	4996	482	9.6	0.15	0.05	0.10	0.00	0.00
S4	5036	444	8.8	0.17	0.07	0.10	0.00	0.00
S5	4909	438	8.9	0.19	0.10	0.10	0.01	0.00
S6	1986	188	9.5	0.24	0.15	0.10	0.03	0.00
S7	1970	182	9.2	0.28	0.19	0.10	0.04	0.00
S8	1987	162	8.2	0.33	0.24	0.10	0.06	0.00
S9	1971	187	9.5	0.44	0.35	0.10	0.12	0.00
ИТОГО	44983	4153	9.2	0.20	0.11			

ТАБЛИЦА 2: ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕРВЕРОВ

Сервер	Обработано	Время работы	Кисп, %
S1	12974	977.08	97.7
S2	12935	969.43	96.9
S3	8460	970.16	97.0
S4	6452	966.32	96.6
СРЕДНЕЕ	40821	3882.99	97.1

Результаты сохранены в simulation_results.json

=====

Программа успешно завершена!

=====

9. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И АНАЛИЗ

9.1. Стоимостные параметры системы

Для экономического анализа использованы следующие реалистичные стоимостные параметры банковской системы антифлага:

Параметр	Значение (у.е.)	Обоснование
Быстрый сервер (0.05–0.1 с)	150 000	Высокопроизводительное оборудование для обработки транзакций
Средний сервер (0.08–0.15 с)	100 000	Стандартное банковское оборудование
Медленный сервер (0.1–0.2 с)	70 000	Оборудование устаревшего поколения
Место в буфере	15 000	Стоимость оперативной памяти банковского класса
Доход с обработанной транзакции	+1 200	Комиссия банка за операцию
Штраф за отклонённую транзакцию	-3 000	Штраф регулятора + упущенная выгода
Штраф за задержку обработки	-800/сек	Нарушение SLA (Service Level Agreement)

Формула расчёта экономической эффективности:

Эффективность = Доходы - Затраты

Доходы = Обработанные × 1 200

Затраты = Стоимость оборудования + Отклонённые × 3 000 + Среднее время ожидания × Обработанные × 800

Стоимость оборудования = Сумма стоимостей серверов + Буфер × 15 000

9.2. Сравнительный анализ конфигураций

В таблице представлены результаты моделирования 10 конфигураций с фиксированными 10 источниками (суммарная интенсивность $\lambda = 45$ транз/сек). Все конфигурации оценивались по критериям:

1. Вероятность отказа (Ротк) < 10%
2. Загрузка серверов (Кисп) > 90%
3. Максимальная экономическая эффективность

Конфиг	Серверы (тип, кол-во)	Буфер	Ротк (%)	Ср. Тож	Загрузка (%)	Стоимость оборудования (у.е.)	Эффективность (у.е.)	Соответствие требованиям
1	2 б. + 1 с. + 1 м. (4)	15	7.7	0.24	99.2	695 000	34 473 520	Да
2	2 б. + 1 с. + 1 м. (4)	25	6.7	0.42	99.7	845 000	28 974 112	Да
3	4 б (4)	15	0.1	0.04	83.7	825 000	51 178 240	Нет (загрузка <90%)

4	3 б (3)	20	11.6	0.40	99.9	750 000	23 321 120	Нет (Ротк >10%)
5	1 б. + 1 с. + 1 м. (3)	15	36.6	0.49	100.0	545 000	-13 670 144	Нет
6	2 б. + 2 с. + 1 м. (5)	15	0.4	0.06	87.9	795 000	50 567 184	Нет (загрузка <90%)
7	5 б (5)	20	0.0	0.01	67.2	1 050 000	52 355 176	Нет (загрузка <90%)
8	2 б (2)	30	40.6	1.11	100.0	750 000	-41 466 648	Нет
9	2 б. + 2 с. + 2 м. (6)	15	0.0	0.02	76.9	865 000	52 450 992	Нет (загрузка <90%)
10	2 б. + 1 с. + 1 м. (4)	8	9.4	0.10	96.7	590 000	37 039 760	Да

9.3. Анализ результатов

- Влияние производительности серверов: Конфигурации с быстрыми серверами (3, 7) демонстрируют минимальные вероятности отказа (0,0–0,1%), однако их загрузка не превышает 83,7%, что указывает на неполное использование ресурсов.
- Влияние количества серверов: Уменьшение числа серверов с 4 до 2 (конфиг 8) приводит к катастрофическому росту вероятности отказа (40,6%) и отрицательной экономической эффективности. Увеличение числа серверов свыше 5 (конфиг 9) хотя и даёт нулевой отказ, но снижает загрузку до 76,9%, делая систему экономически неоптимальной.
- Влияние размера буфера: Увеличение буфера с 8 до 25 мест (конфиги 10 → 1 → 2) снижает вероятность отказа с 9,4% до 6,7%, но приводит к росту среднего времени ожидания в 4 раза (с 0,10 до 0,42 с) и увеличению затрат на оборудование, что снижает общую эффективность.
- Эффективность пакетной обработки по приоритету (Д2Б5): Во всех конфигурациях подтверждена работа дисциплины выбора заявок — транзакции от высокоприоритетных источников (S1, S2) обрабатываются в первую очередь, что соответствует требованиям бизнес-домена.

9.4. Выбор оптимальной конфигурации

Из трёх конфигураций, полностью соответствующих требованиям (Ротк < 10%, Кисп > 90%) – 1, 2 и 10 – максимальную экономическую эффективность 37 039 760 у.е. показывает Конфигурация 10. Она обеспечивает:

- Вероятность отказа 9,4% (в пределах допустимых 10%)
- Загрузку серверов 96,7% (выше требуемых 90%)
- Минимальное среднее время ожидания 0,10 с среди соответствующих конфигураций
- Наименьшие капитальные затраты на оборудование 590 000 у.е.

Конфигурация 10:

- Серверы: 4 (2 быстрых, 1 средний, 1 медленный)
- Буфер: 8 мест
- Эффективность: 37 039 760 у.е.

10. ВЫВОД

В ходе работы в соответствии с вариантом №9 была смоделирована система приоритетной верификации транзакций банка. Программа на Python реализована с использованием метода особых событий и корректно воспроизводит все дисциплины варианта, включая пакетную обработку по приоритету источников и отказ новым заявкам при переполнении буфера.

На основе тестирования 10 конфигураций установлены следующие зависимости:

- **Увеличение числа серверов** снижает вероятность отказа, но ведёт к недозагрузке оборудования (менее 90%), что экономически неэффективно.
- **Увеличение буфера** уменьшает отказы, но резко возрастает среднее время ожидания (в 4 раза при росте с 8 до 25 мест) и стоимость системы.
- **Использование только быстрых серверов** даёт минимальные отказы (0,1%), но не обеспечивает требуемую загрузку (83,7%).
- **Смешанный состав серверов** (быстрые + средние + медленные) позволяет сбалансировать производительность и стоимость.

Оптимальной признана **Конфигурация 10** (4 сервера: 2 быстрых, 1 средний, 1 медленный; буфер 8 мест), обеспечивающая:

- вероятность отказа **9,4%** (в пределах 10%),
- загрузку серверов **96,7%** (выше 90%),
- минимальное время ожидания **0,10 с**,
- максимальную эффективность **37 039 760 у.е.**

Система демонстрирует, что для банковского антифлода критически важен баланс между производительностью, размером очереди и стоимостью — избыточные ресурсы снижают окупаемость, а их недостаток ведёт к росту отказов и штрафам.