МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования



НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е.АЛЕКСЕЕВА

Институт радиоэлектроники и информационных технологий

Кафедра «Вычислительные системы и технологии»

ОТЧЁТ

по лабораторной работе №3

«Имитационное моделирование надежности в системе GPSSW»

по дисциплине

«Модели надежности автоматизированных систем обработки информации и управления»

РУКОВОДИТЕЛЬ:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Викулова Е.Н.

СТУДЕНТ:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Муминов А.А

М24-ИВТ-4

Нижний Новгород, 2025

**Цель работы:** разработка моделей систем с отказами и восстановлением при различных видах структурного резервирования в среде GPSSW, проведение экспериментов с моделями, анализ результатов, получение показателей надежности систем.

* 1. **Моделирование системы без резервирования**

**Задание:**

1. Выполнить моделирование системы для случая экспоненциального распределения λ=0,1 (1/ч)

* вычислить среднее время безотказной работы системы и сравнить со значением MEAN в отчете *GPSS Report*;
*  построить и сравнить графики вероятности безотказной работы, полученные с использованием аналитической формулы и данных последней колонки таблицы в отчете GPSSW.

Для расчета вероятности безотказной работы по данным *GPSS* *Report* можно использовать формулу:

где *t* - значение правой границы в столбце **RANGE**, CUM(t) – накопленные частоты, значения из последнего столбца **CUM.**

2) Выполнить моделирование системы с числом последовательно соединенных элементов >2, закон распределения выбрать самостоятельно.

3) Исследовать влияние коэффициента вариации на среднее время безотказной работы системы. Для этого выполнить моделирование системы рис.1 для различных распределений времени безотказной работы с одинаковым математическим ожиданием (например, для случая T=10(ч)). Изменения коснутся блоков ADVANCE(), в которых необходимо будет использовать соответствующие функции. На основании результатов моделирования сделать вывод о наличии (отсутствии) влияния коэффициента вариации на среднее время безотказной работы системы.

**Ход работы:**

1) Выполним моделирование в среде GPSS World, получим отчет:

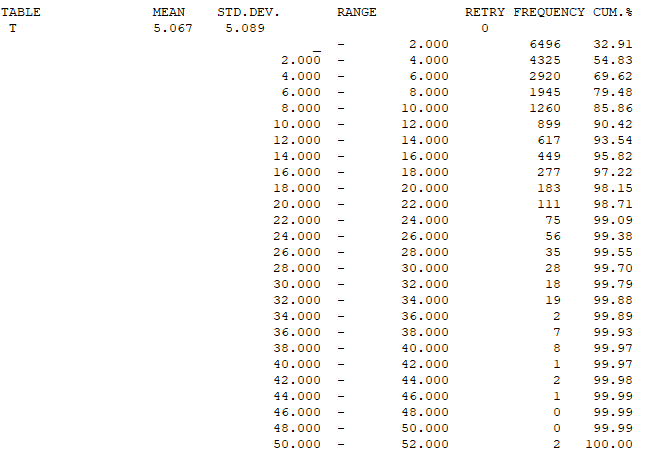


Рисунок 1. – Отчет работы модели системы без резервирования

Из рисунка 1 видно, что значение MEAN (время безотказной работы) равно = 5.067

Время безотказной работы каждого элемента распределено по экспоненциальному закону со средним значением 10 ч (интенсивность отказов λ = 0.1(1/ч)).

Так как система содержит два последовательно соединенных элемента, то среднее время безотказной работы системы = = 5 часов.

Вывод: Теоретическое и практическое значения времени совпали.

Построим график вероятности безотказной работы, полученный с использованием аналитической формулы P(t)=e−0.2t:

1. Для построение будем использовать код:



Рисунок 2. – Код для построения графика

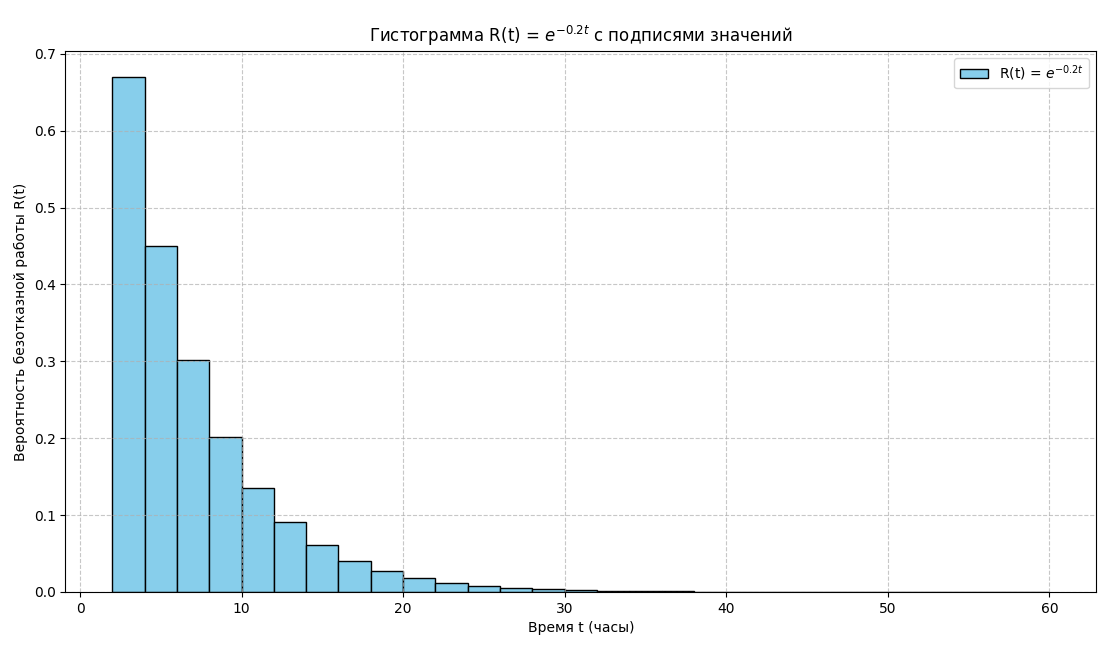


Рисунок 3. – Полученный график

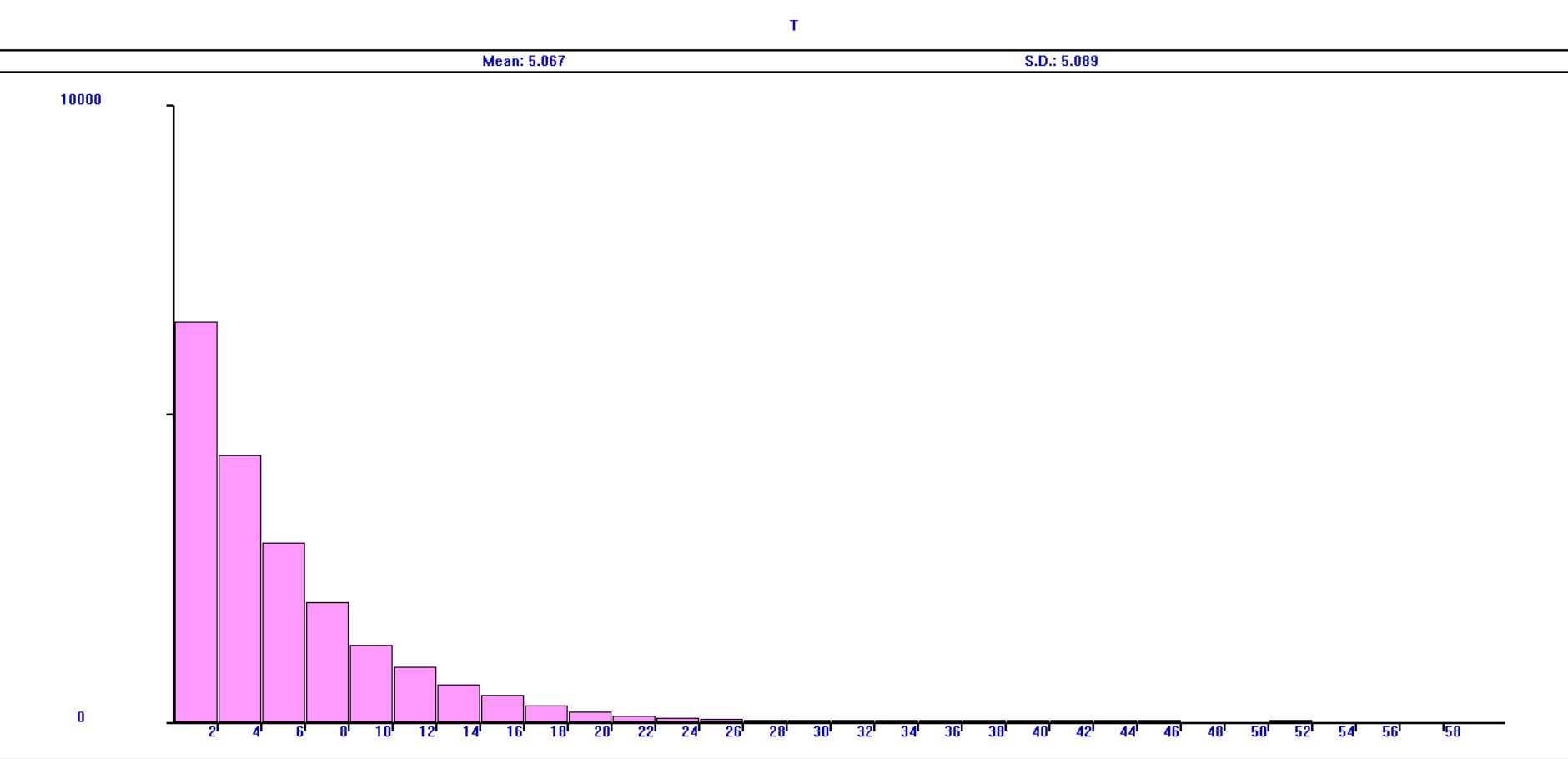


Рисунок 4. – График вероятности безотказной работы модели системы без резервирования

Можно сделать вывод, что графики, полученные аналитическим и практическим путем, совпадают. Моделирование выполнено верно.

2) Выполним моделирование системы с числом последовательно соединенных элементов = 3 и экспотенциальным законом распределения.

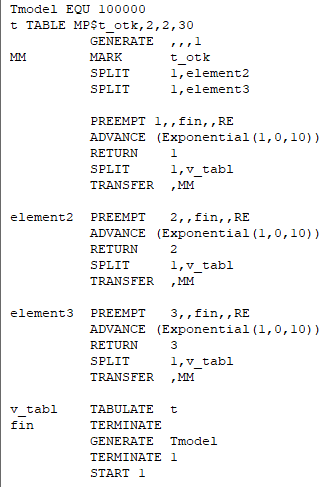


Рисунок 5. – Используемый код

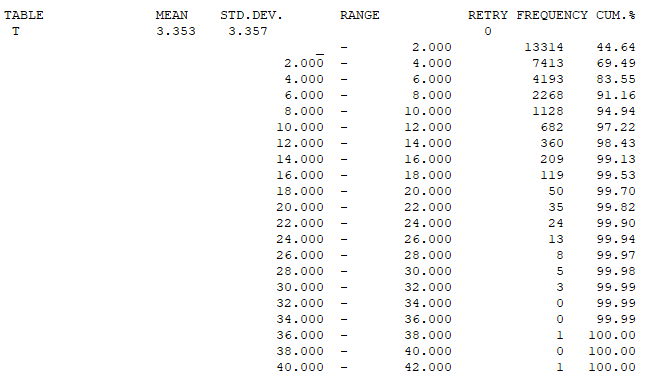


Рисунок 6.– Отчет работы модели системы без резервирования для 3 элементов

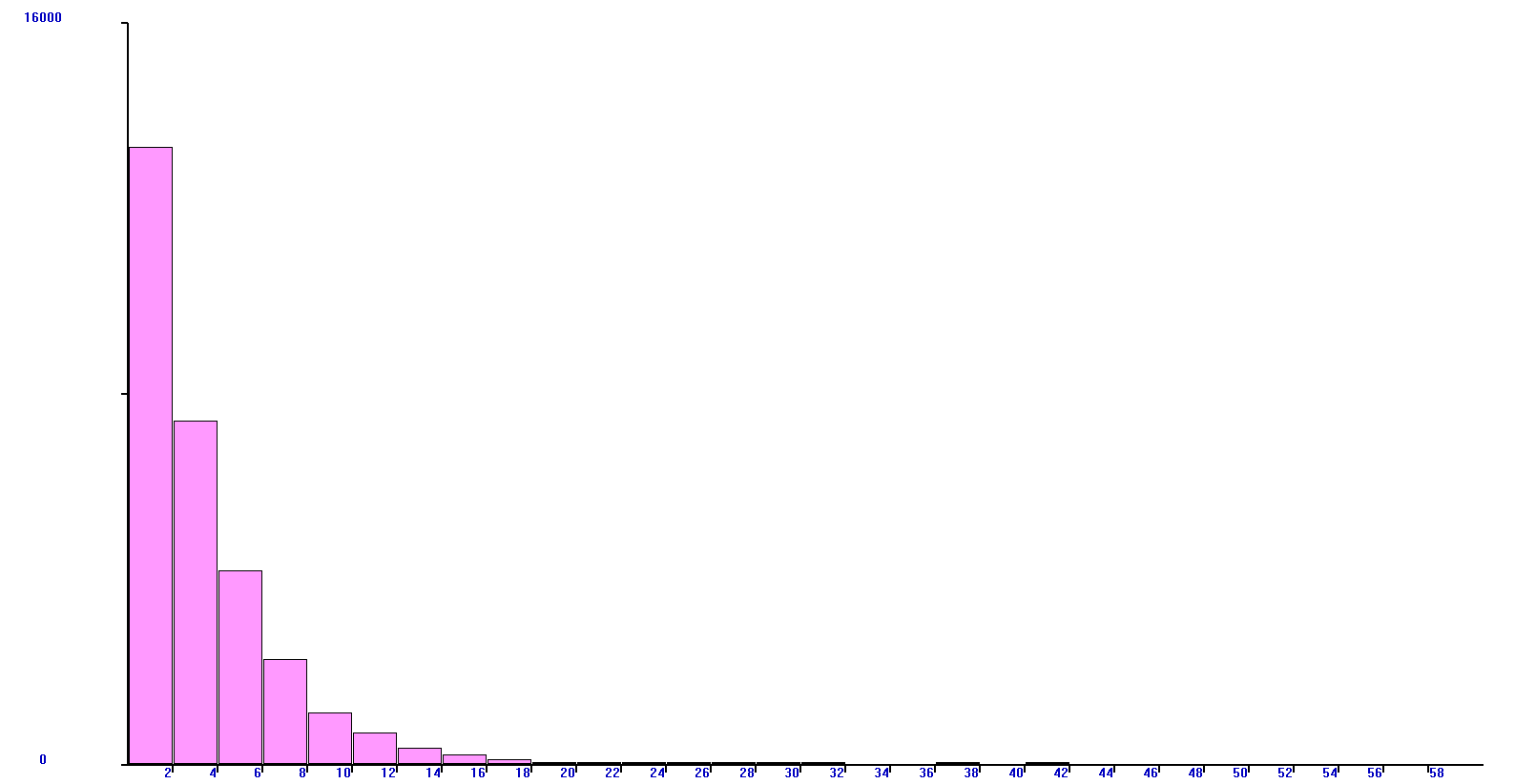


Рисунок 7. – График вероятности безотказной работы модели системы без резервирования

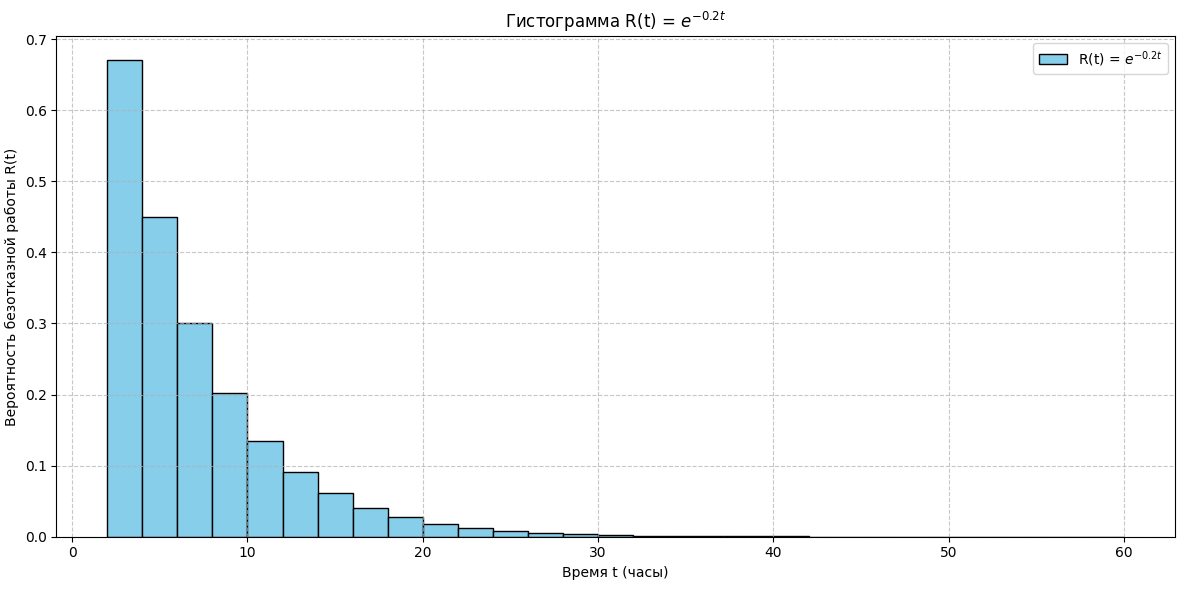
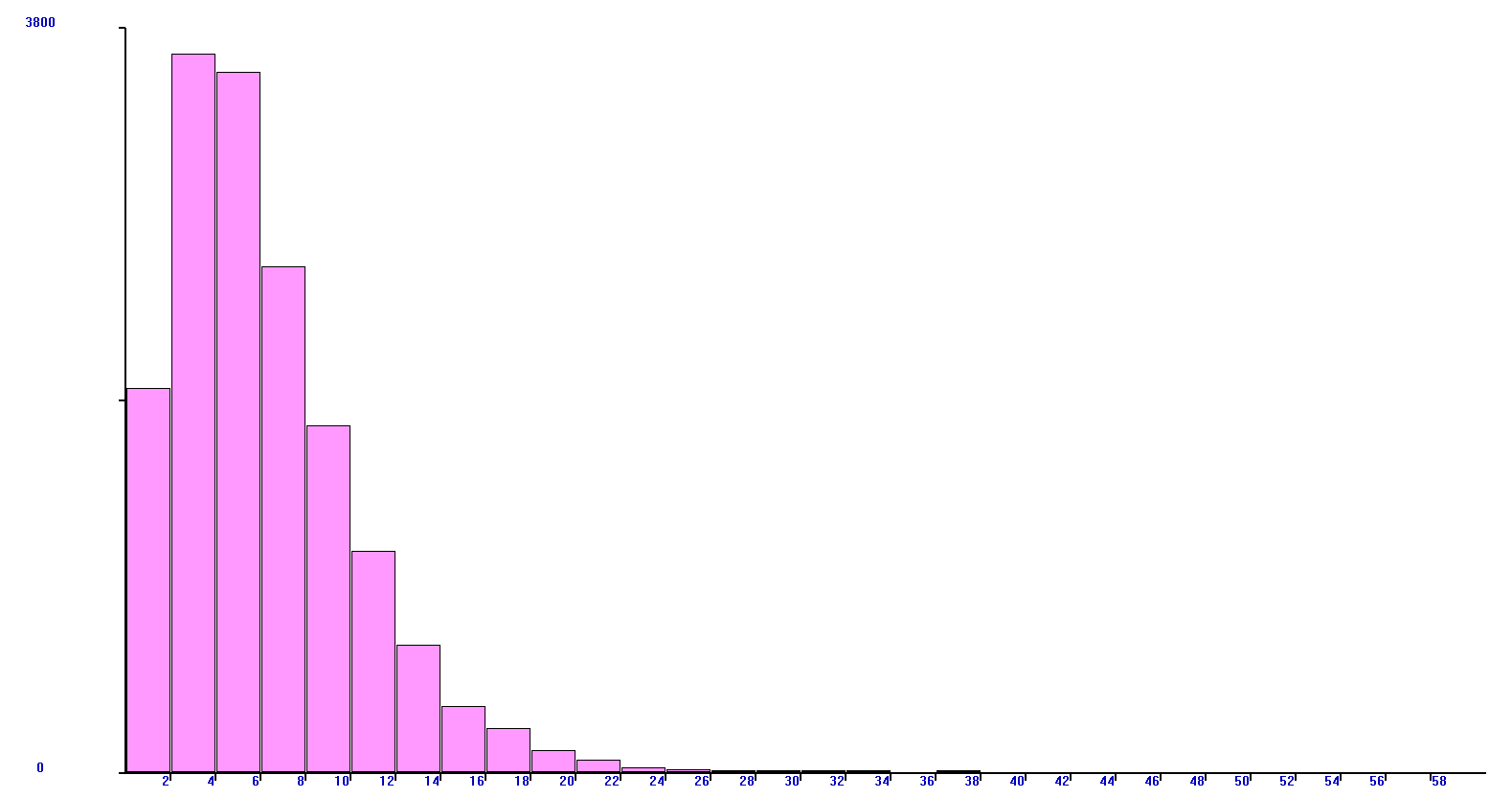
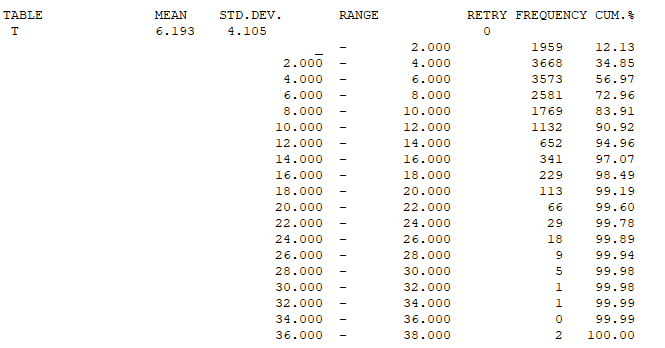


Рисунок 8. – График с аналитическими данными.

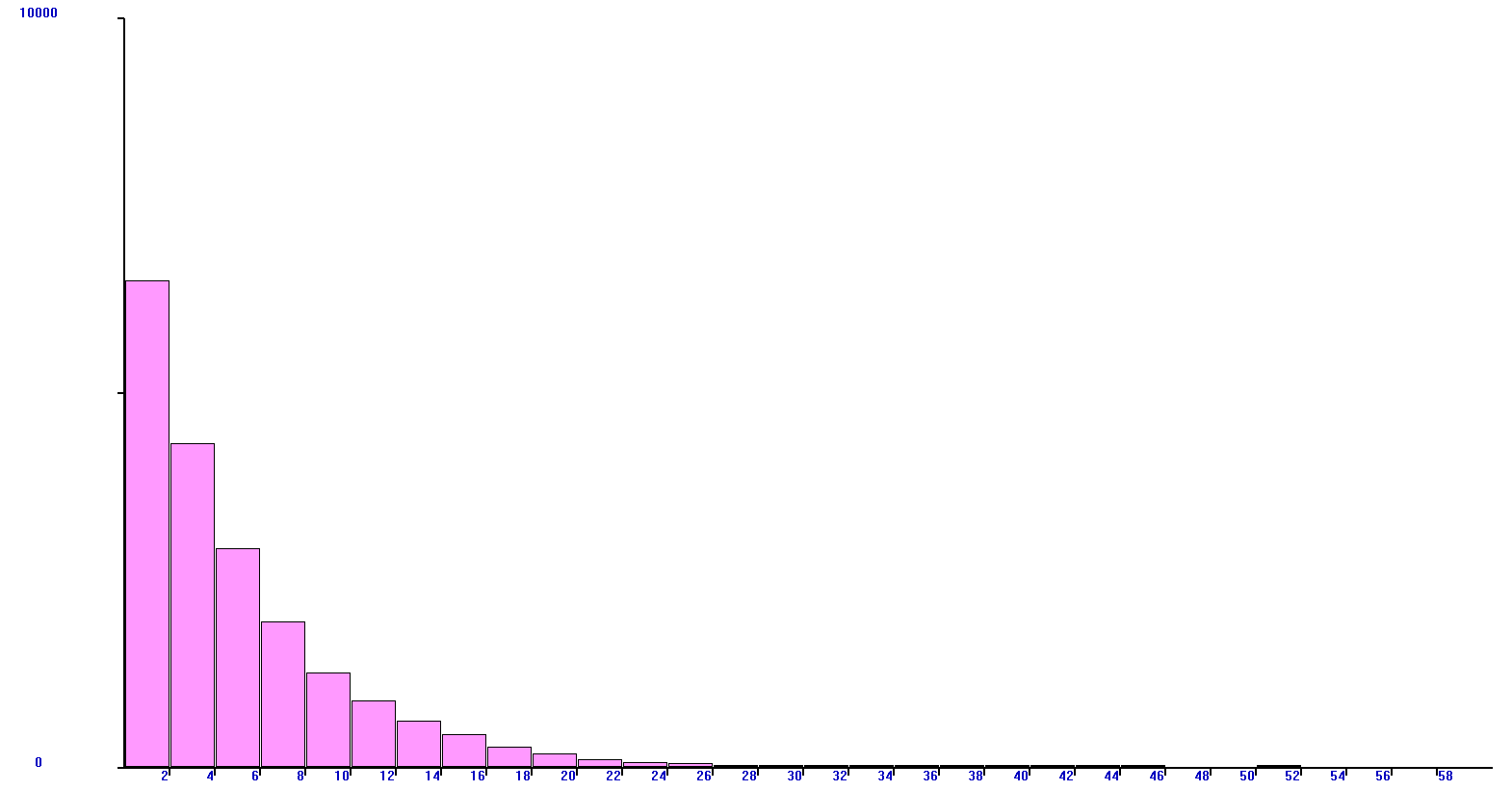
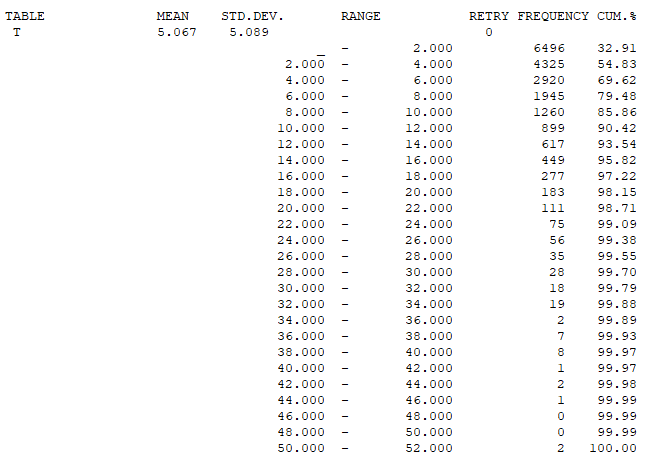
Графики, полученные аналитическим и практическим путем (в среде GPSS World), совпадают.

3) Исследуем влияние коэффициента вариации на среднее время безотказной работы системы. Для этого выполним моделирование системы с разными параметрами гамма распределения.

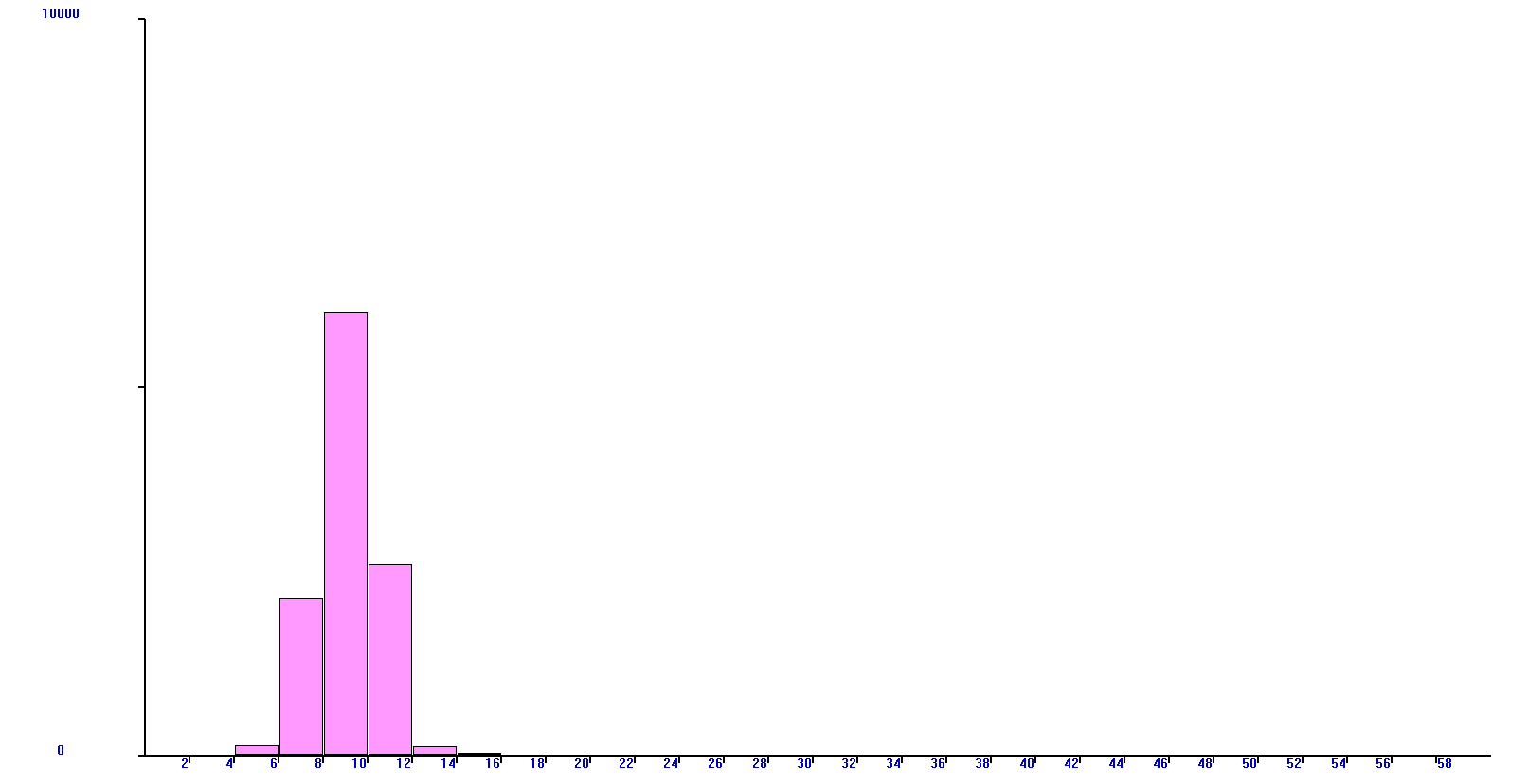
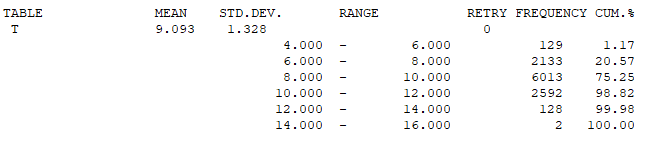
GAMMA (1,0,5,2):



Exponential(1,0,10):



NORMAL(1,10,1.62):



**Вывод:** Если среднее значение остается постоянным, но изменяется коэффициент вариации, то наблюдается влияние на среднее время безотказной работы системы. Конкретно, чем выше разброс данных (коэффициент вариации), тем меньше оказывается средний интервал работы системы без сбоев. Это объясняется тем, что при большей вариабельности увеличивается вероятность появления ранних отказов, что снижает надежность в целом. Таким образом, устойчивость системы зависит не только от среднего времени, но и от стабильности его распределения.

* 1. **Постоянное нагруженное резервирование**

**Задание:**

1. Выполнить моделирование для m=2, λ = 0,1(1/ч). Сравнить среднее время безотказной работы, полученное при моделировании, со значением 3/(2λ)
2. Построить модель и выполнить моделирование для числа параллельных элементов m>2, закон распределения – экспоненциальный. Сравнить среднее время безотказной работы, полученное при моделировании, со значением
3. Выполнить моделирование для случая, когда распределение не является экспоненциальным (например, можно использовать распределение из Задания 1, m выбрать самостоятельно), получить среднее значение (MEAN), построить и сравнить графики вероятности безотказной работы, полученные с использованием аналитических формул и данных последней колонки таблицы в отчете.

**Ход работы:**

* + 1. Выполним моделирование в среде GPSS World:

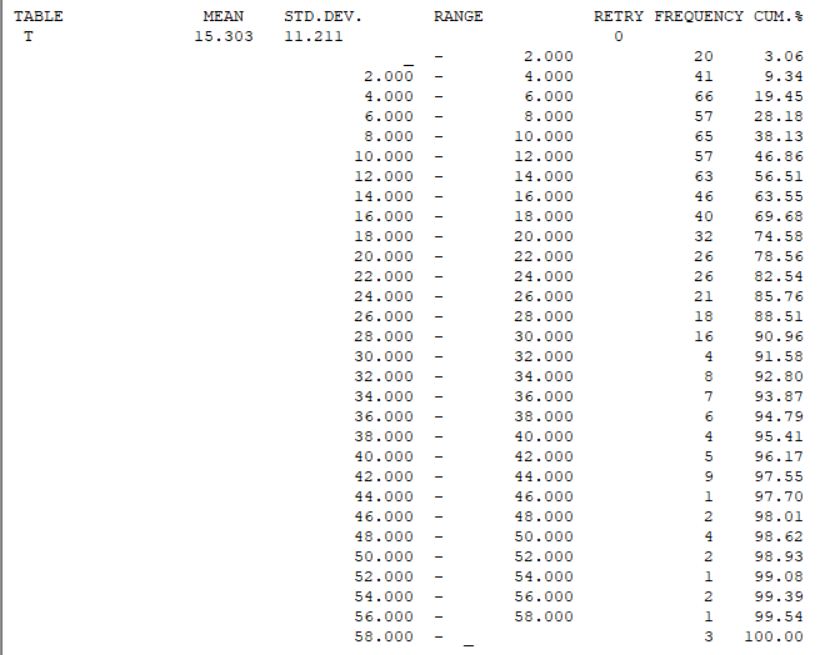


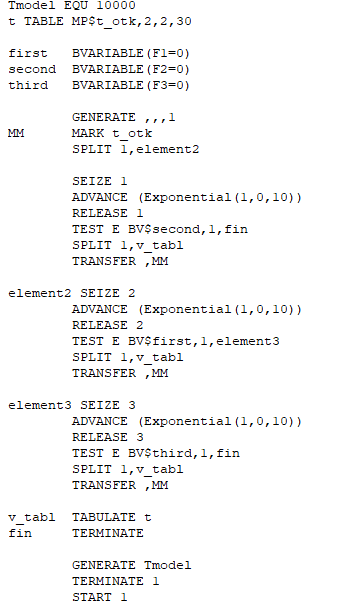
Рисунок 9. – Отчет работы модели системы с постоянным нагруженным резервированием

Среднее время безотказной работы, полученное при моделировании: 15.303ч

Посчитаем теоретическое значение: 3/(2λ) = 3/(2\*0.1) = 15ч

Значения, полученное при моделировании и теоретическим путем, приблизительно равны.

* + 1. Построим модель и выполним моделирование для числа параллельных элементов m=3 с экспоненциальным законом распределения.



1. Рисунок 10. – Код модели

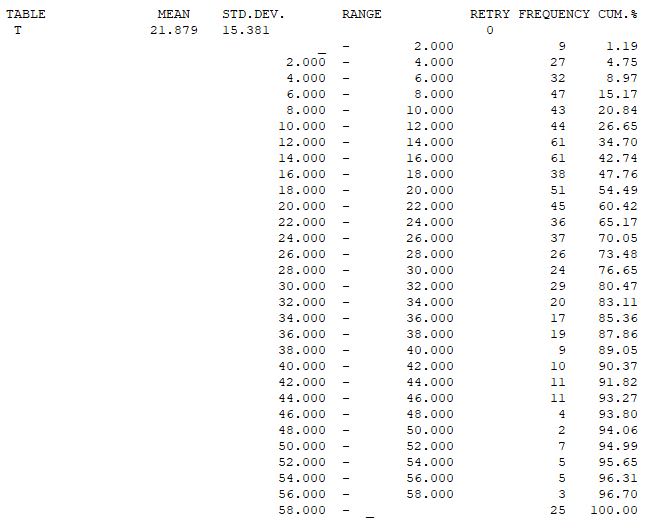


Рисунок 11. – Отчет работы модели системы с постоянным нагруженным резервированием с m=3 и экспоненциальным распределением

Среднее время безотказной работы, полученное при моделировании, составляет 18.3ч. Время, полученное при вычисление, составляет 15.3ч.

Значения времени безотказной работы приблизительно равны.

3) Выполним моделирование для случая, когда используется гамма распределение.

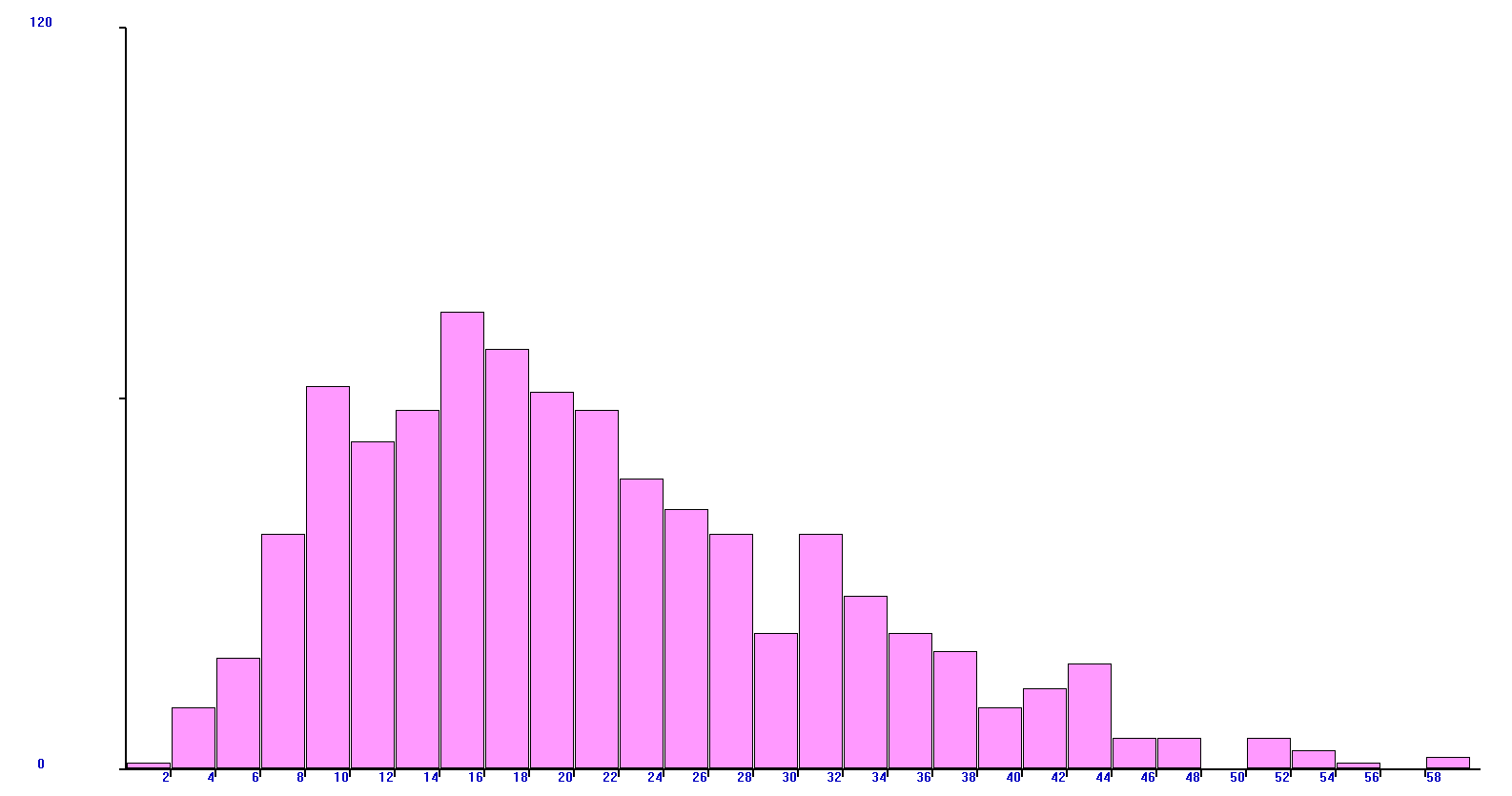
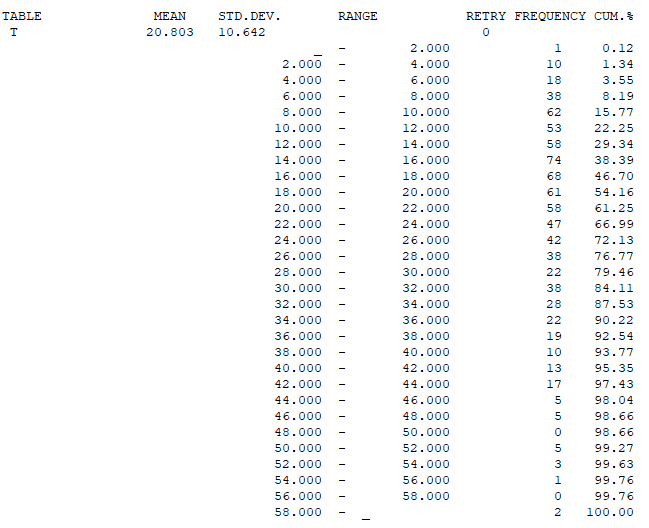
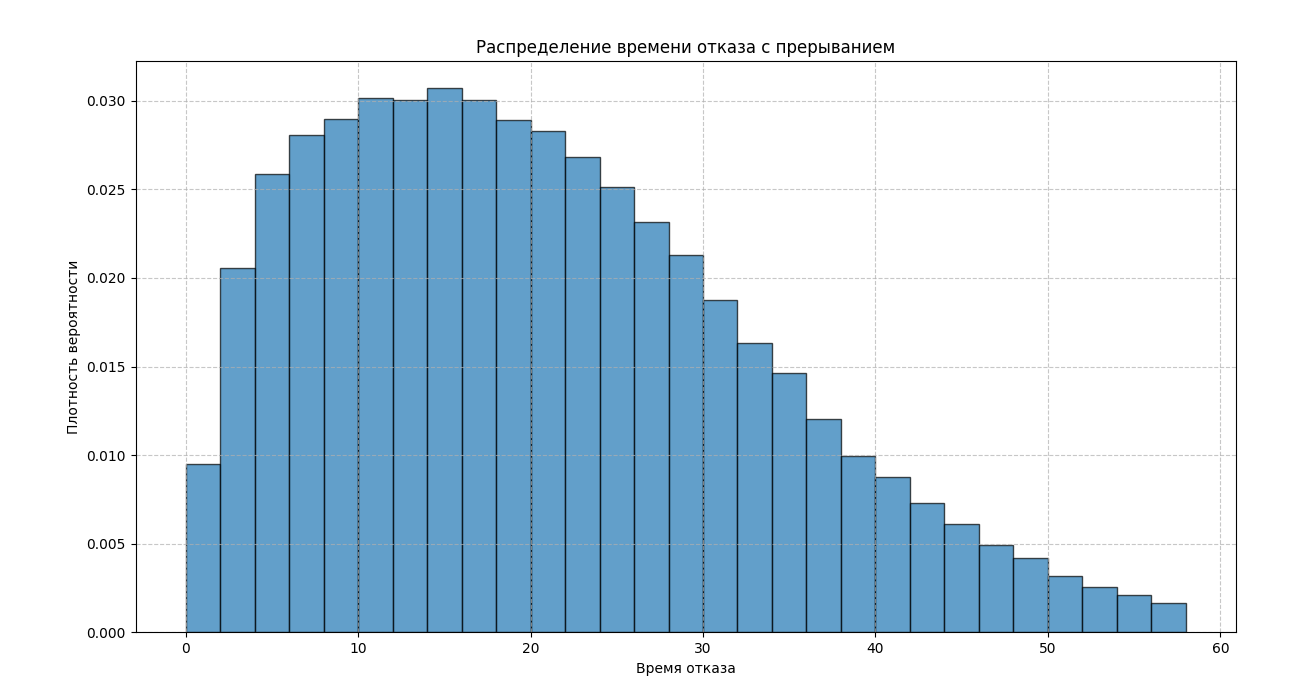


Рисунок 12. Отчет работы модели системы с постоянным нагруженным резервированием с m=3 и гамма-распределением

Построим график вероятности безотказной работы, полученные с использованием аналитических формул гамма-распределения:



Можно сделать заключение, что графики вероятности безотказной работы, полученные с использованием аналитических формул и данных последней колонки таблицы в отчете, похожи. По результатам моделирования заметно, что при увеличении числа параллельно работающих резервных элементов, надежность увеличивается.

* 1. **Резервирование замещением**

**Задание:**1) Выполнить моделирование для случая ненагруженного дублирования, если время безотказной работы элементов подчиняется:   
а) экспоненциальному распределению с параметром λ = 0,1(1/ч);   
б) гамма-распределению с параметрами α=5, β=2 (m=10, σ=4,47, Kv=0,45).

Для каждого случая получить среднее значение (MEAN), построить и сравнить графики вероятности безотказной работы, полученные с использованием аналитических формул и данных последней колонки таблицы в отчете.

2) Выполнить моделирование системы для кратности резервирования >1, закон распределения и параметры выбрать самостоятельно.

**Ход работы:**

1а) Выполним моделирование системы для случая ненагруженного дублирования если время безотказной работы элементов подчиняется экспоненциальному распределению с параметром λ = 0,1(1/ч):

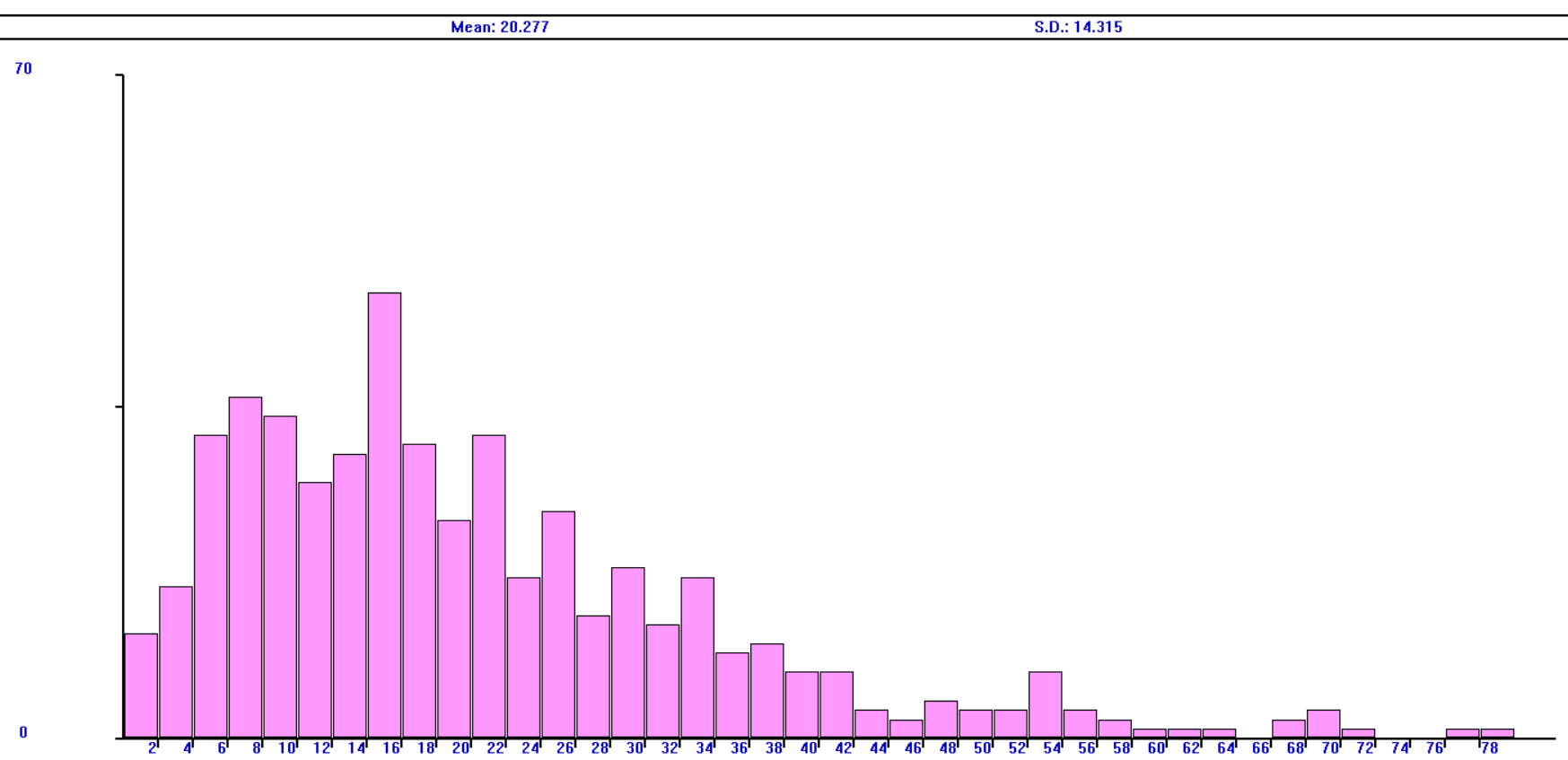
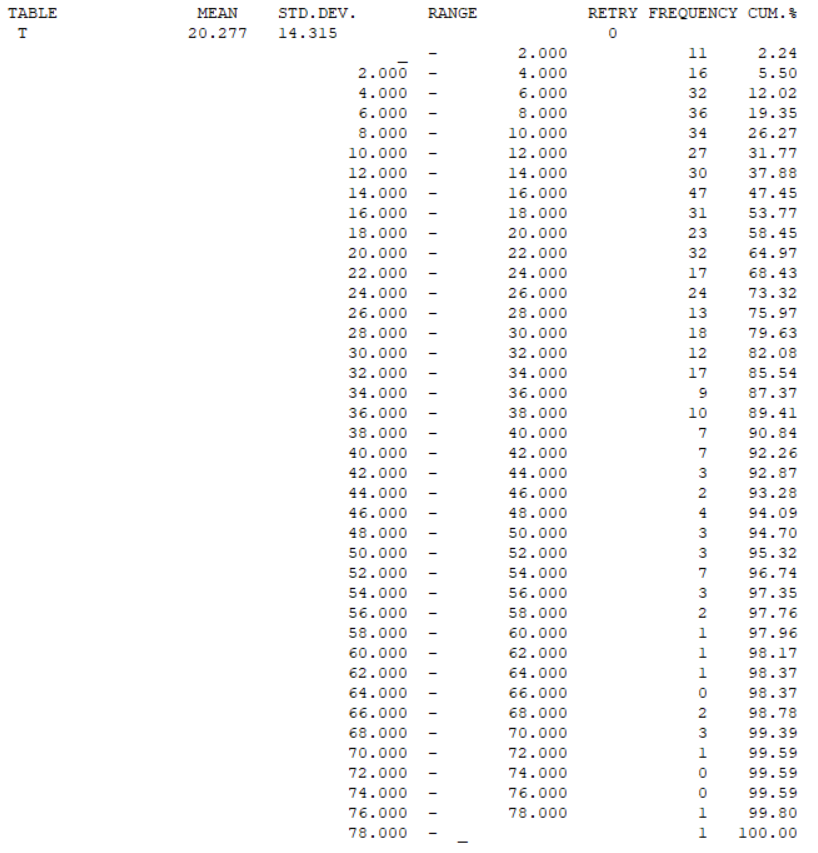
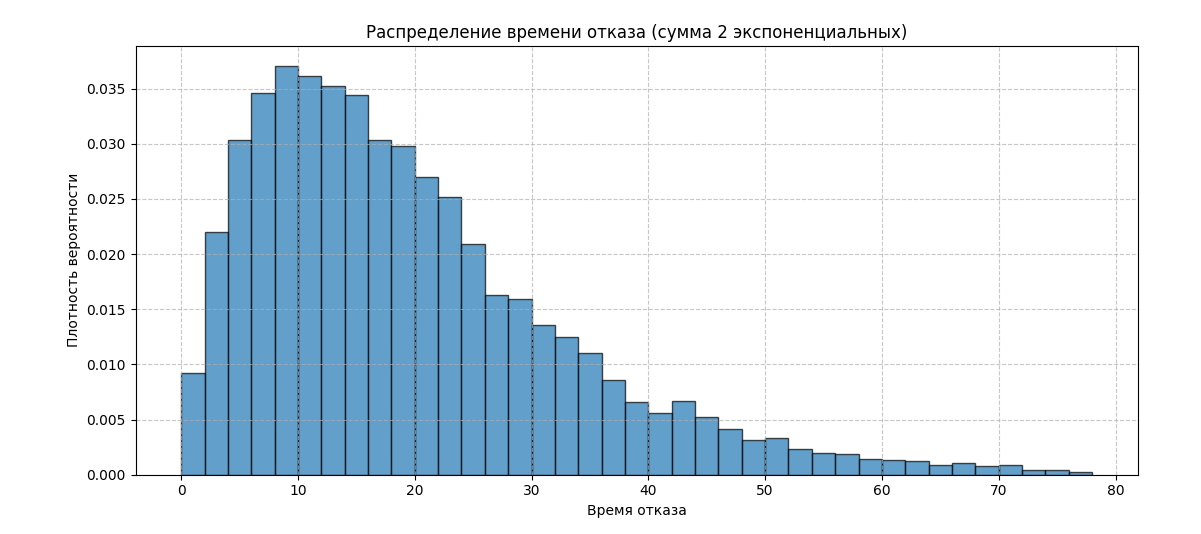


Рисунок 13. – Отчет работы модели системы с резервированием замещением с экспоненциальным распределением

Построим график вероятности безотказной работы, полученный с использованием аналитических формул:



Среднее время безотказной работы составит

Из отчета моделирования видно, что среднее время составило 20.277ч.

б) Выполним моделирование системы для случая ненагруженного дублирования если время безотказной работы элементов подчиняется гамма-распределению с параметрами α=5, β=2 (m=10, σ=4,47, Kv=0,45). Для этого заменим ADVANCE (Exponential(1,0,10)) на ADVANCE (GAMMA(1,0,2,5)).

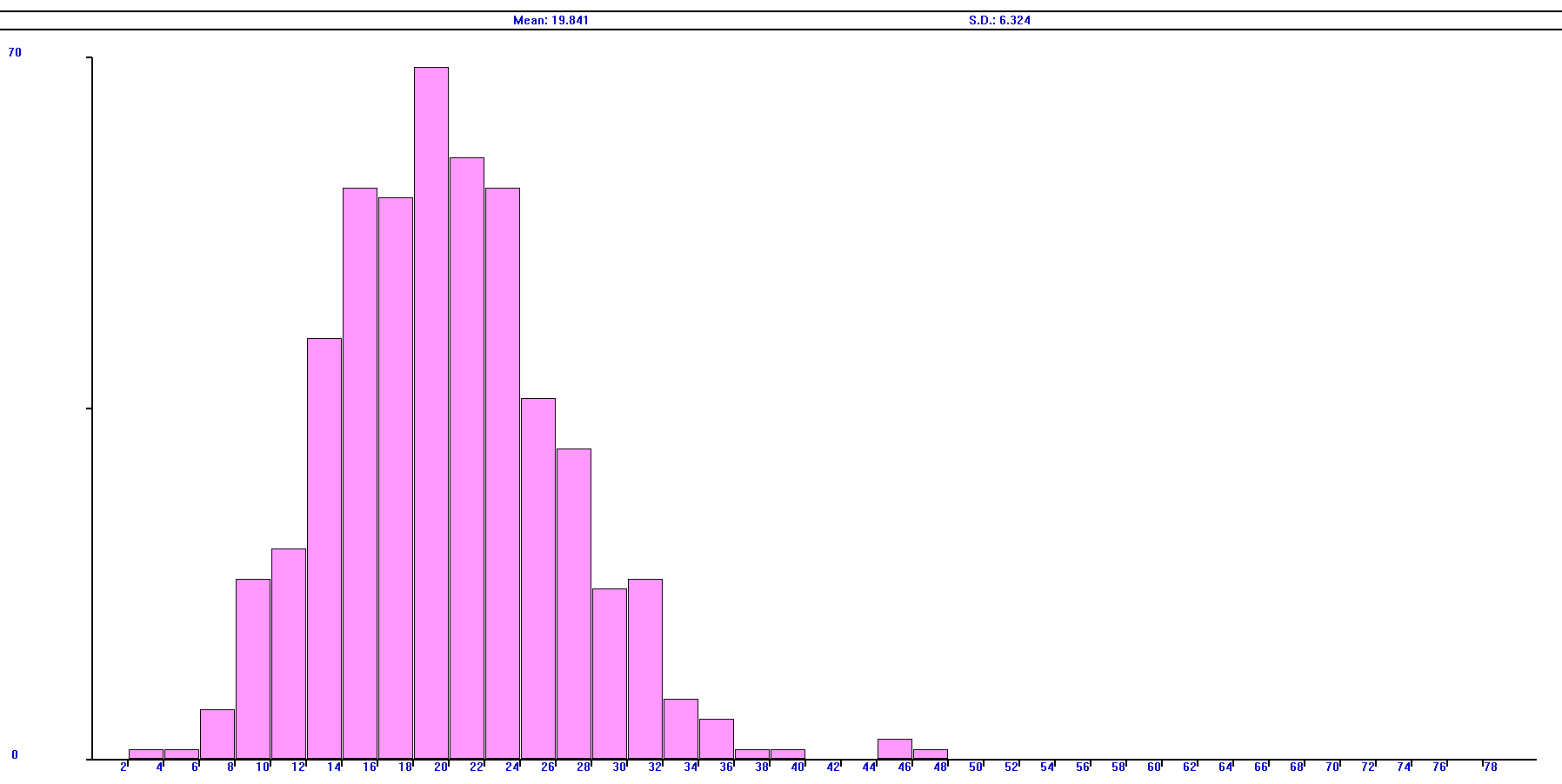
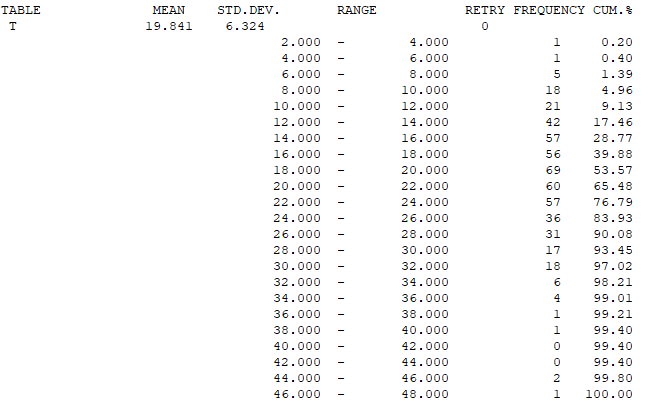
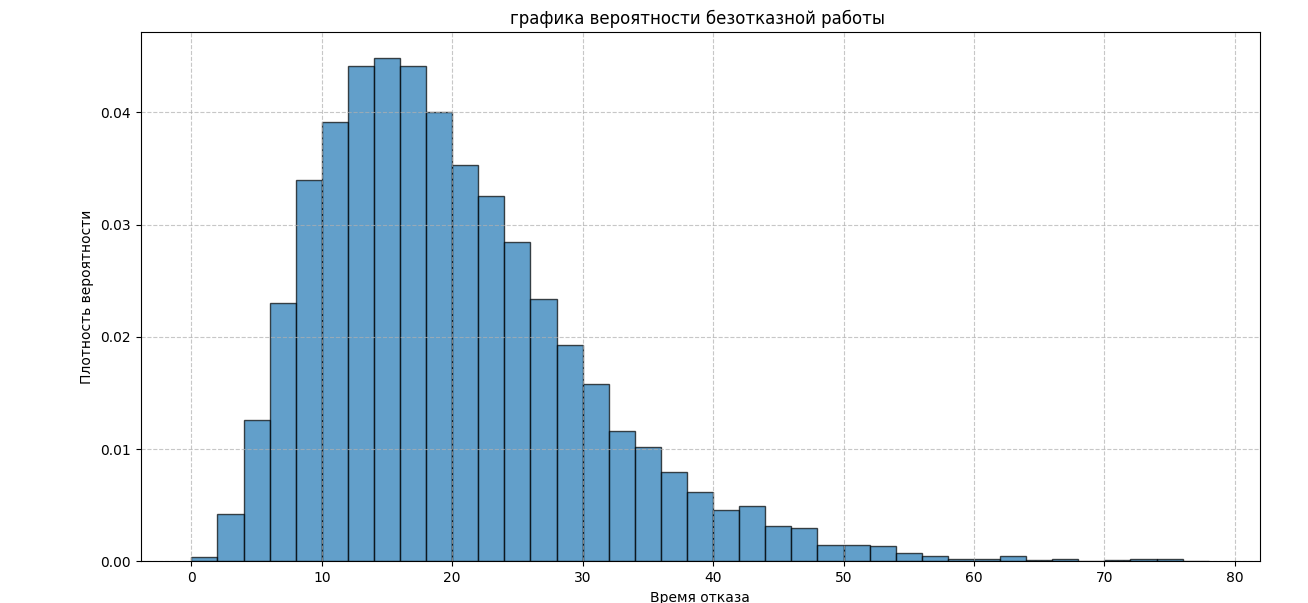


Рисунок 14. Отчет работы модели системы с резервированием замещением с гамма-распределением

Выполним построение графика вероятности безотказной работы



Можно заметить, что графики приблизительно совпадают.

2)Выполним моделирование системы для кратности резервирования >1, экспотенциальным законом распределения Exponential(1,0,10).

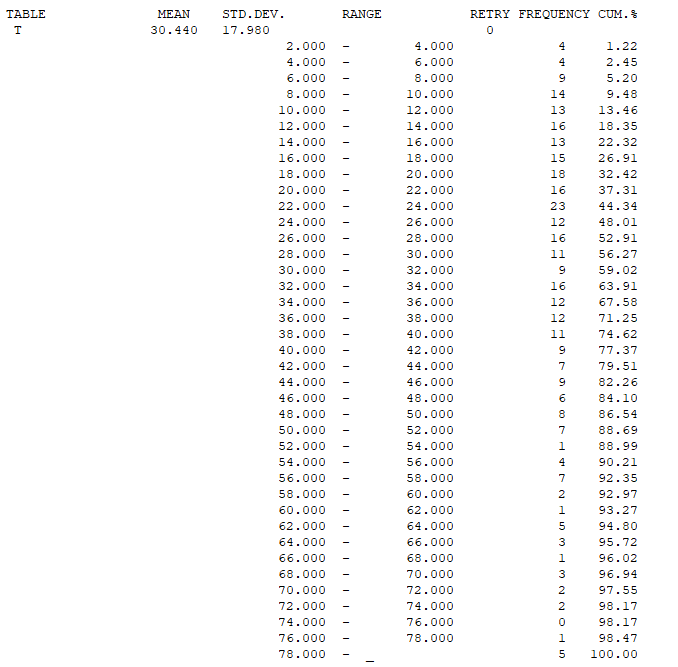
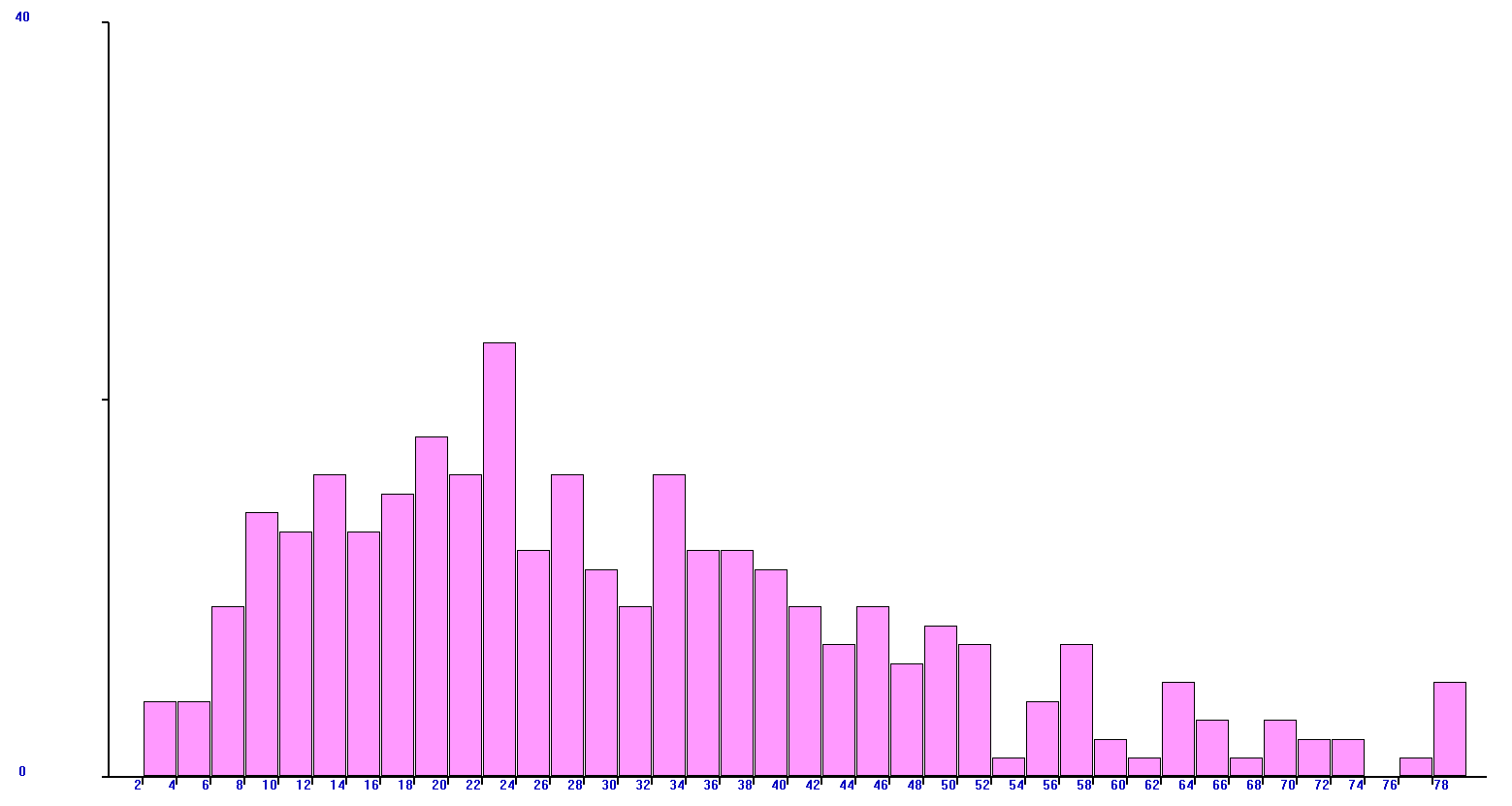
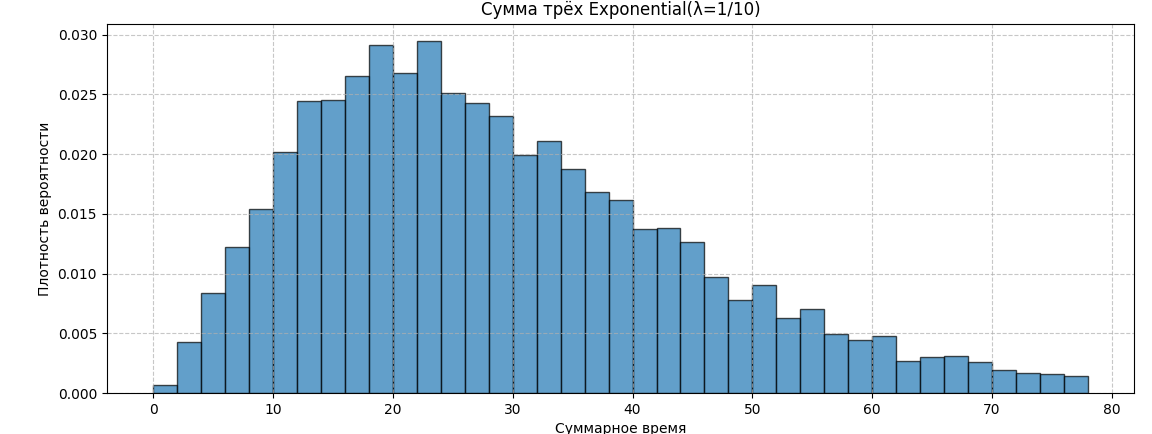


Рисунок 15. Отчет работы модели системы с резервированием замещением



Выполним построение графика вероятности безотказной работы аналитически:



Среднее время безотказной работы из отчета составило 30.440ч. По формуле 30 ч. Графики и среднее время, полученные аналитическим и практическим путем примерно совпадают. Можно сказать, что при увеличении кратности резервирования и использовании распределения Вейбулла, надёжность увеличивается.

* 1. **Восстанавливаемая система**

**Задание:**

Восстанавливаемая система без резерва. Экспоненциальные законы распределения времени безотказной работы и времени восстановления. Самостоятельно задать λ (1/ч). Провести моделирование для случаев: а) μ=0,5 λ (1/ч)); б) μ=λ (1/ч)); в) μ=2 λ (1/ч)). Определить коэффициенты готовности.

**Ход работы:**

Пусть λ=0.2 (1/ч). Проведем моделирование для каждого из случаев и определим коэффициенты готовности.

а) μ=0.5 λ (1/ч)

μ=0.5\*0.2 = 0.1

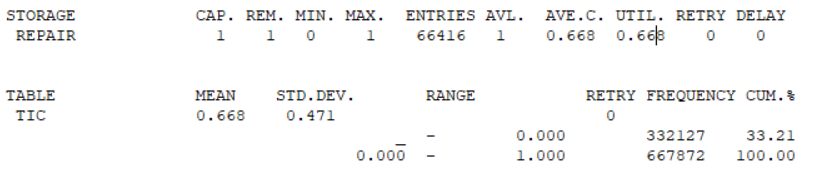


Рисунок 16. Отчет работы модели восстанавливаемой системы при μ=0.5 λ

б) μ=λ (1/ч)

μ=0.2

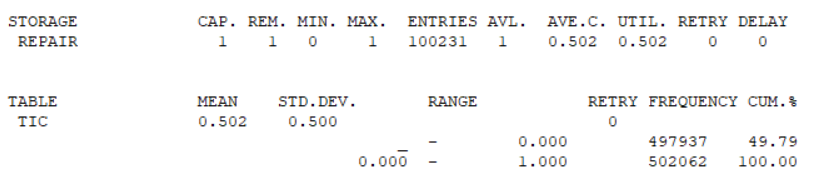


Рисунок 17. Отчет работы модели восстанавливаемой системы при μ=λ

в) μ=2λ (1/ч)

μ=2\*0.2 = 0.4

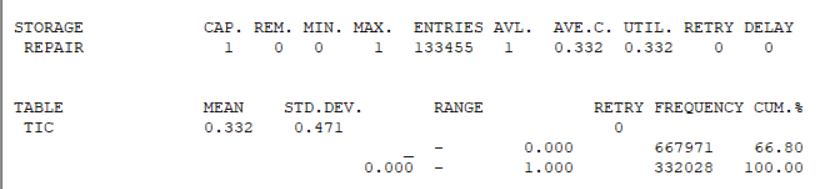


Рисунок 18. Отчет работы модели восстанавливаемой системы при μ=2λ

Моделирование проведено успешно, определены коэффициенты готовности. Значения коэффициентов готовности совпали со значениями, полученными при моделировании. Коэффициент готовности системы растёт с увеличением скорости восстановления.

* 1. **Дублирование с восстановлением**

**Задание:**1) Выполнить моделирование для случая, когда элементы системы разные. Элемент 1: среднее время безотказной работы 4(ч), среднее время восстановления 2(ч) (λ1=0,25 (1/ч), μ1=0,5 (1/ч)).

Элемент 2: среднее время безотказной работы 5(ч), среднее время восстановления 4(ч) (λ2=0,2 (1/ч), μ2=0,25 (1/ч)).

2) Выполнить моделирование для других распределений времени безотказной работы и времени восстановления.

3) Разработать модель для кратности резервирования =2, распределения и параметры выбрать самостоятельно.

**Ход работы:**1) Выполним моделирование для случая, когда элементы системы разные:

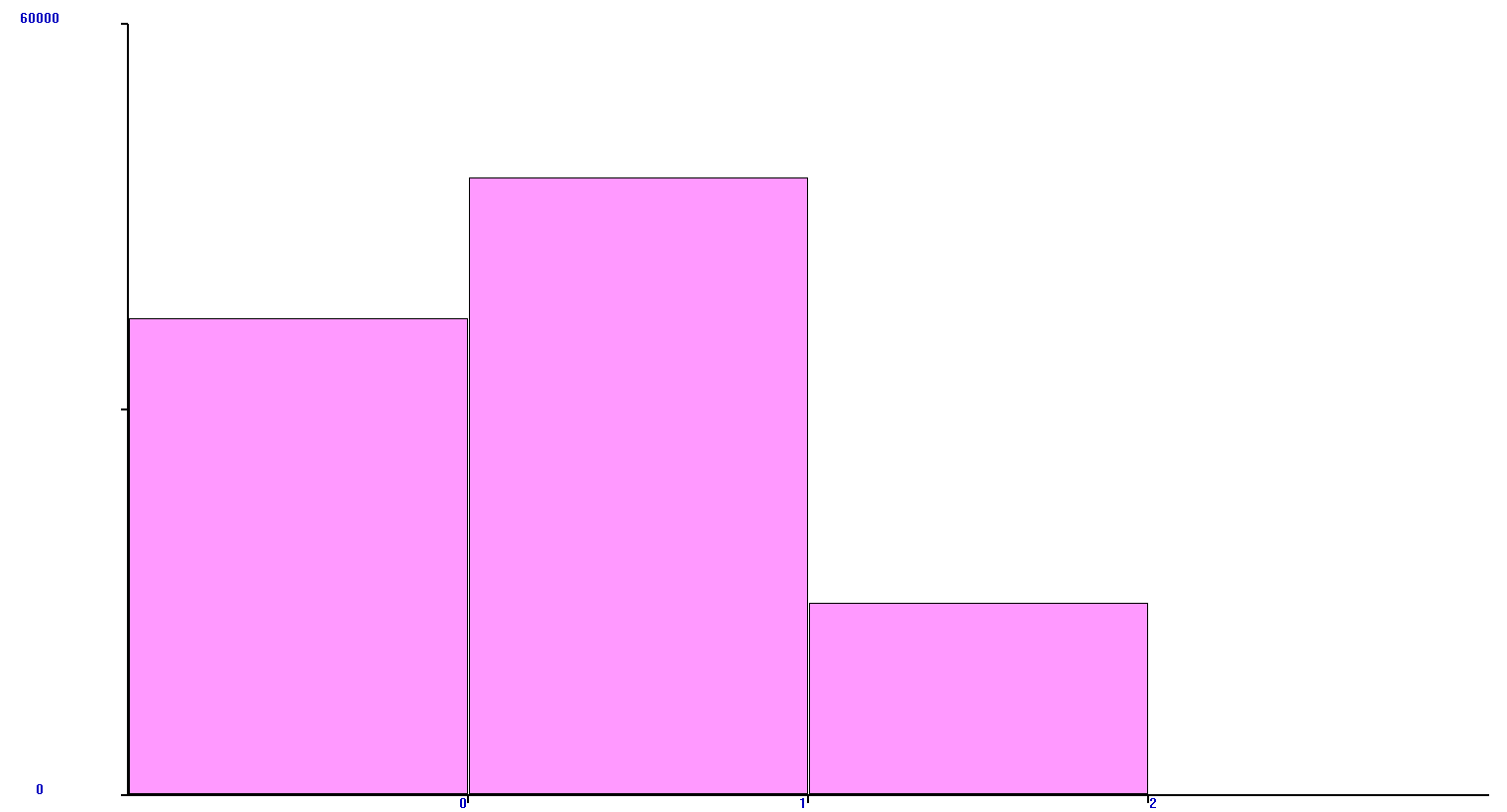
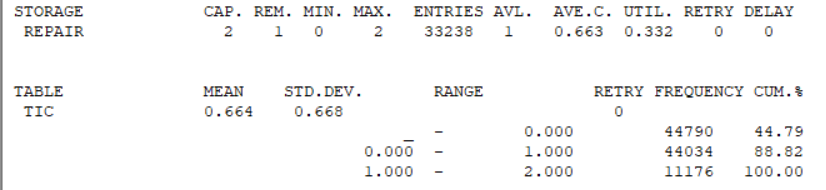
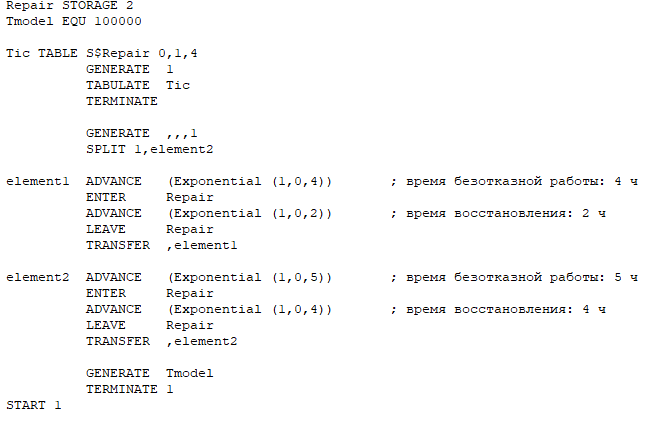


Рисунок 19. Отчет работы модели системы и дублированием и восстановлением

2) Выполним моделирование с использованием различных распределений.

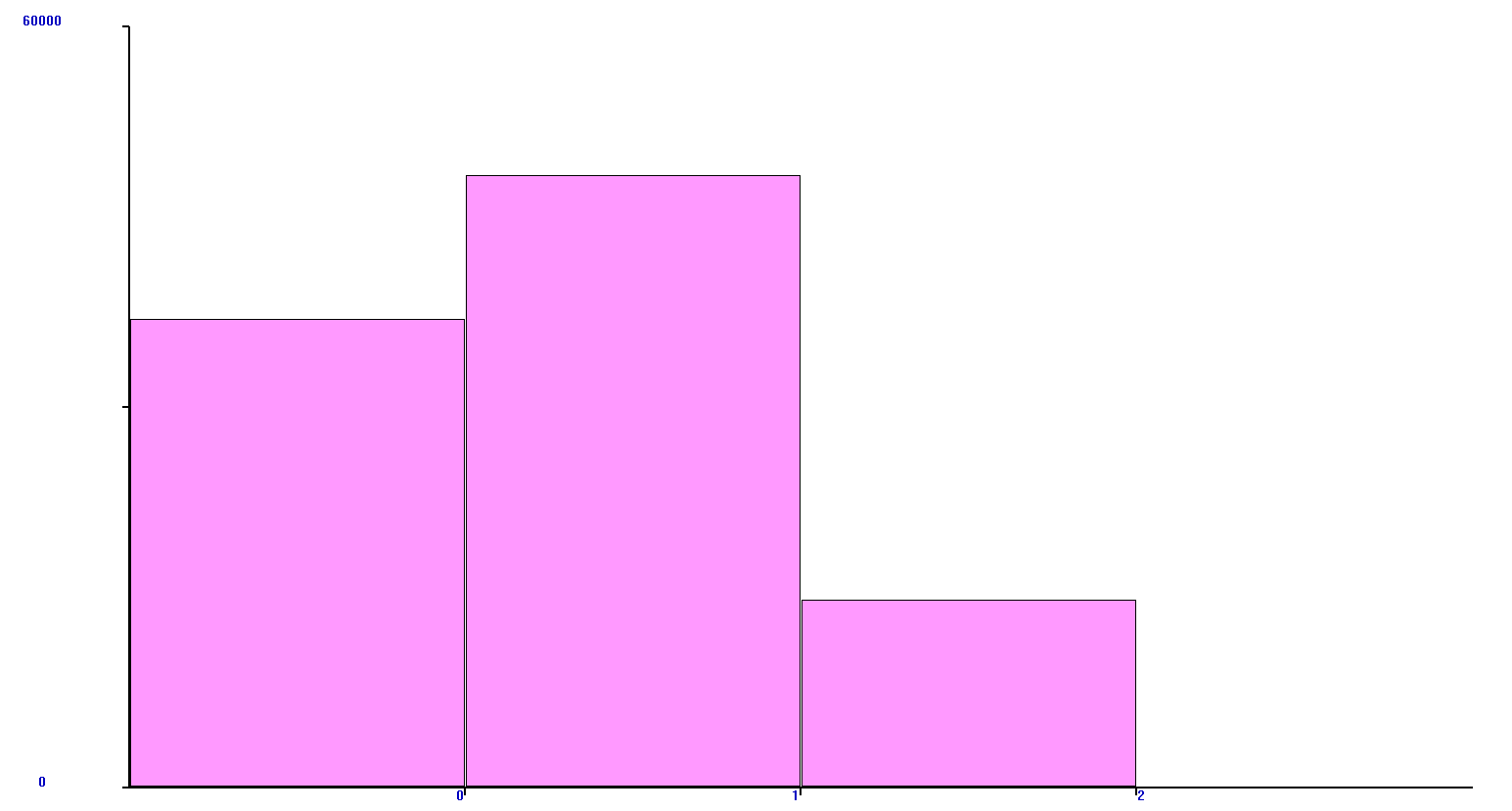
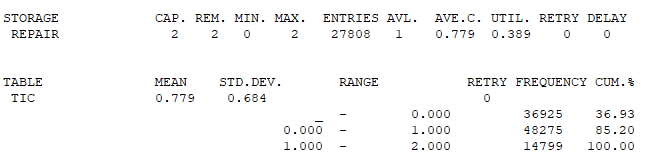
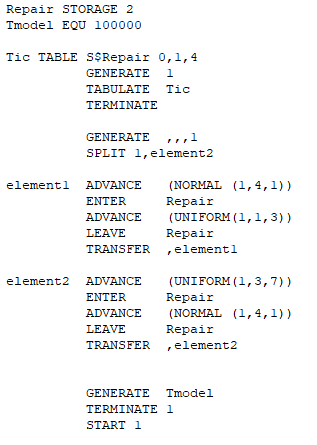


Рисунок 20. Отчет работы модели системы с дублированием и восстановлением

3) Смоделируем систему для кратности резервирования 2 и эскпотенциальным-распределением

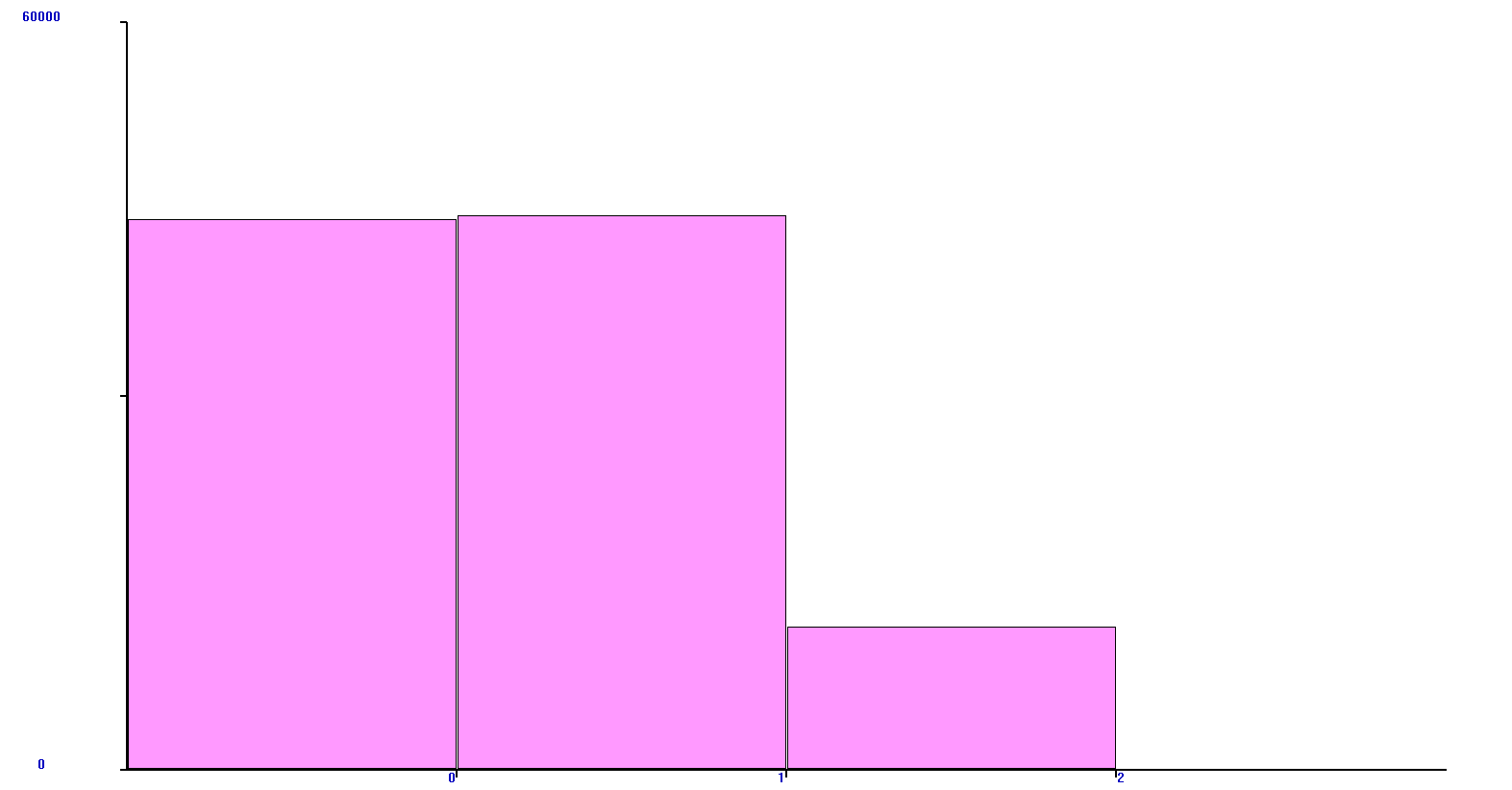
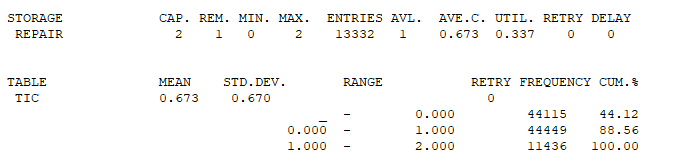
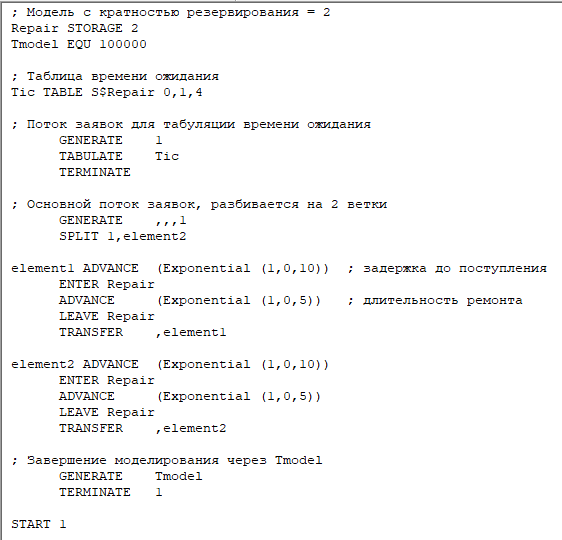


Рисунок 21. Отчет работы модели системы с дублированием, восстановлением и кратностью резервирования=2

* 1. **Восстанавливаемая система с очередью**

**Задание:**Выполнить моделирование системы из примера 6, законы распределения – экспоненциальные, интенсивность отказов λ задать самостоятельно. Изменять μ, например, μ =0.5 λ, λ, 2λ, 10λ. Получить значения коэффициентов готовности, в предположении, что система работает, пока работают любые 5 элементов.

**Ход работы:**

Пусть интенсивность отказов λ = 0.1 (1/ч). Выполним моделирование системы с экспоненциальным законом распределения, изменяя μ:

а) μ =0.5λ

μ =0.5\*0.1 = 0.05

Время безотказной работы: ADVANCE (Exponential (1,0,10))

Время восстановления: ADVANCE (Exponential (1,0,20))

;

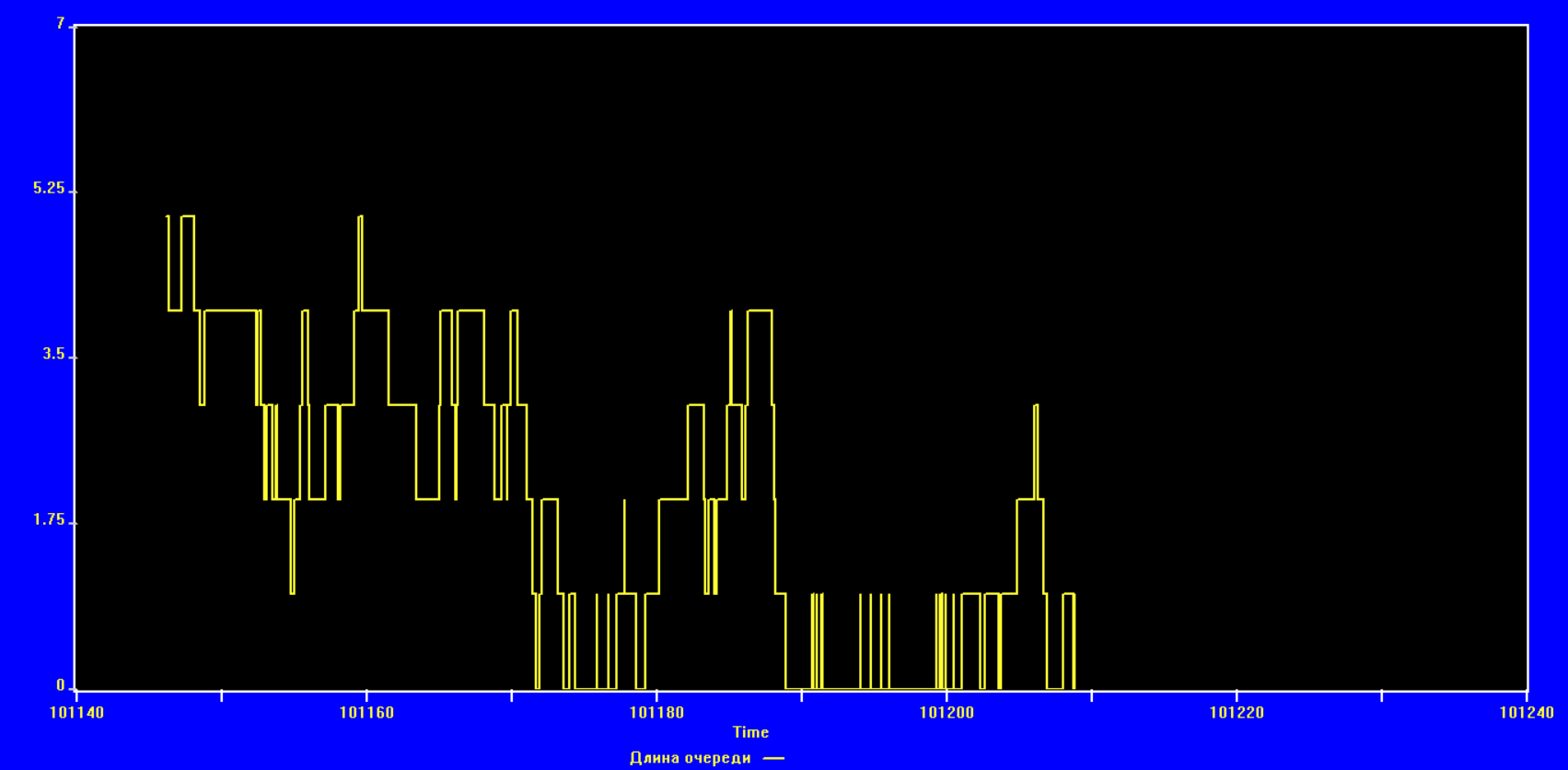
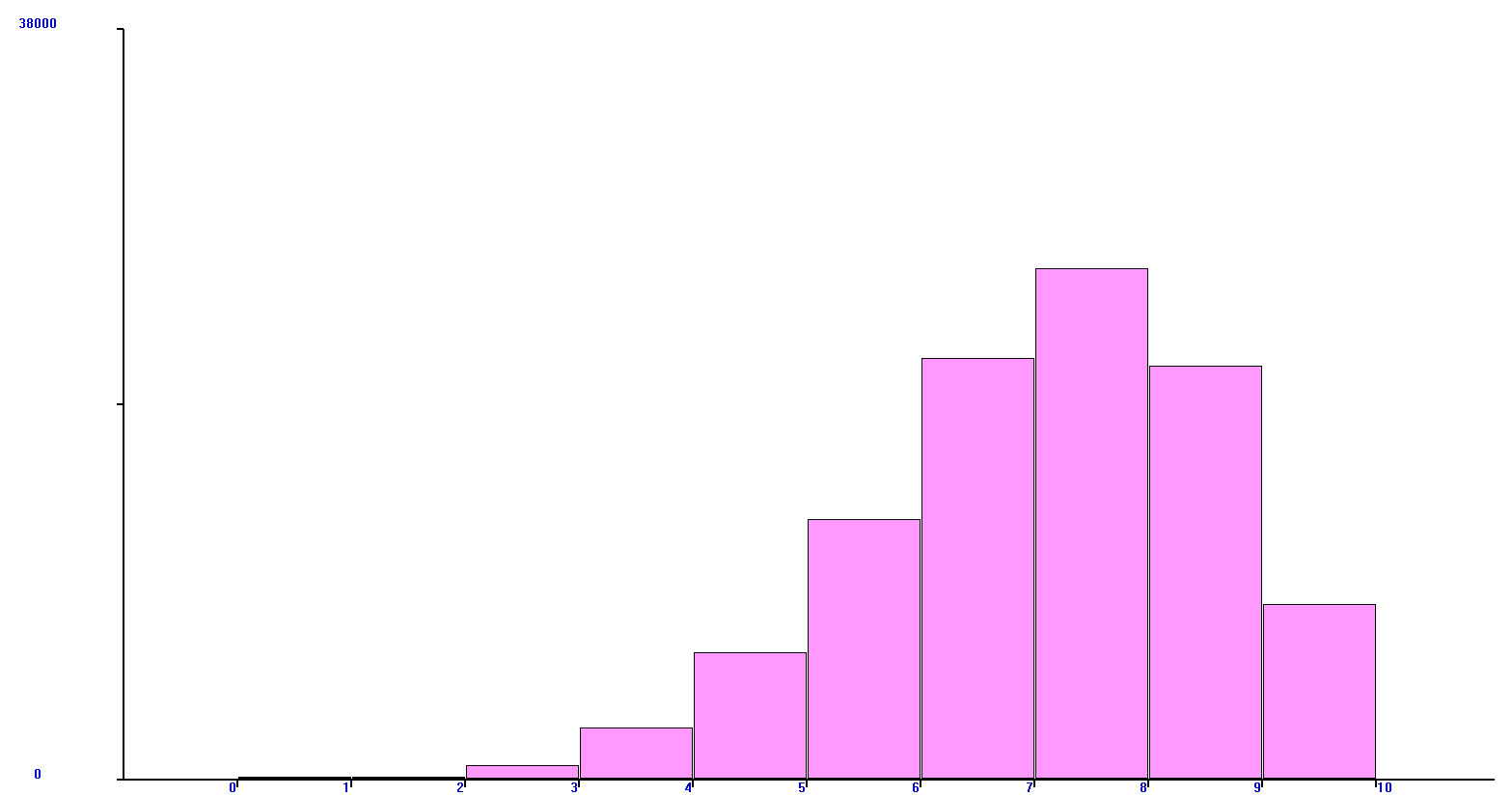
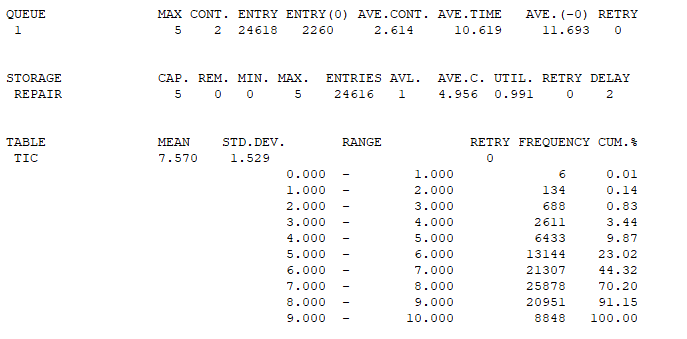


Рисунок 22. Отчет работы модели восстанавливаемой системы с очередью, где μ =0.5λ

б) μ = λ

μ =0.1

Время безотказной работы: ADVANCE (Exponential (1,0,10))

Время восстановления: ADVANCE (Exponential (1,0,10))

;

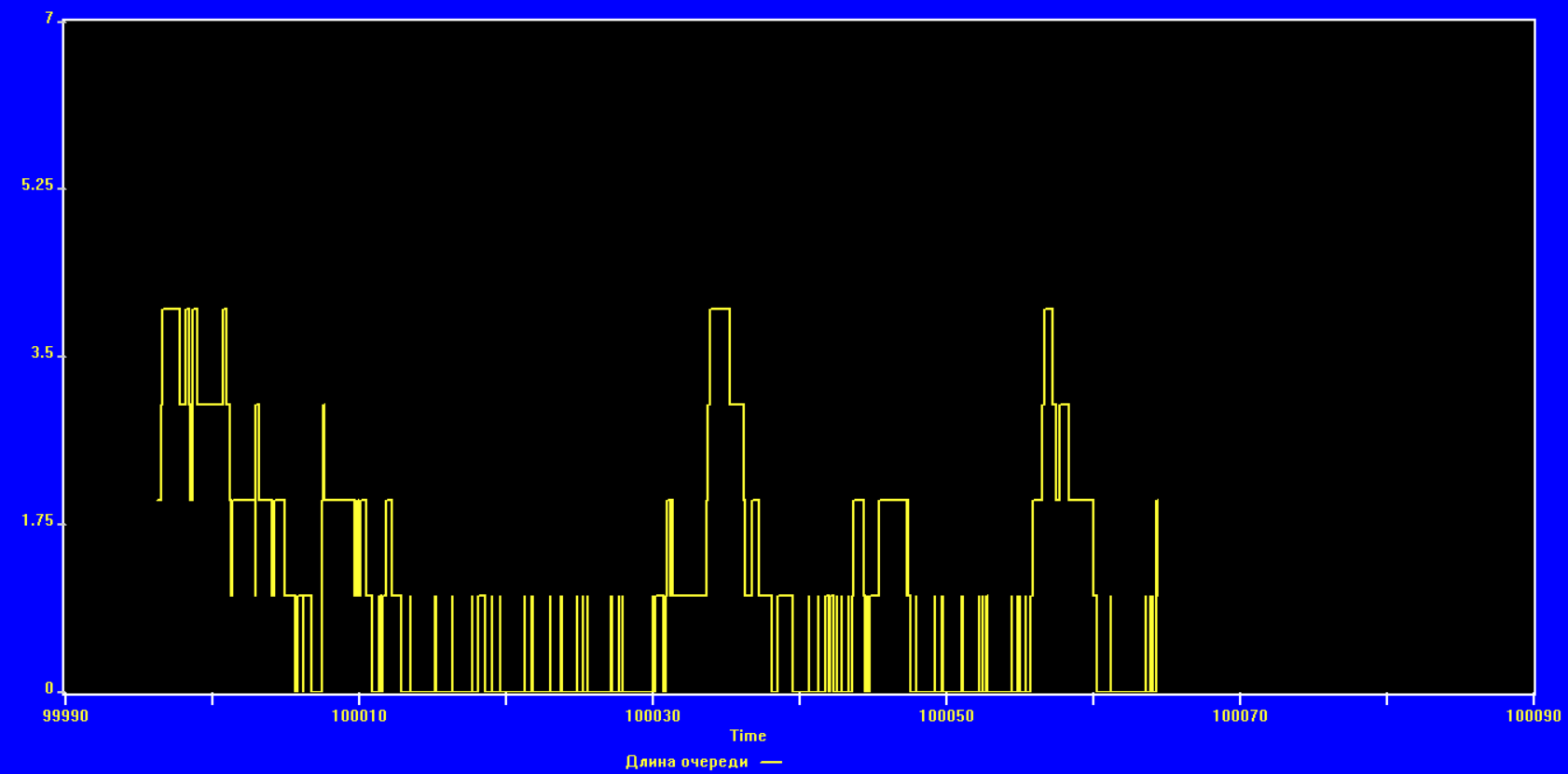
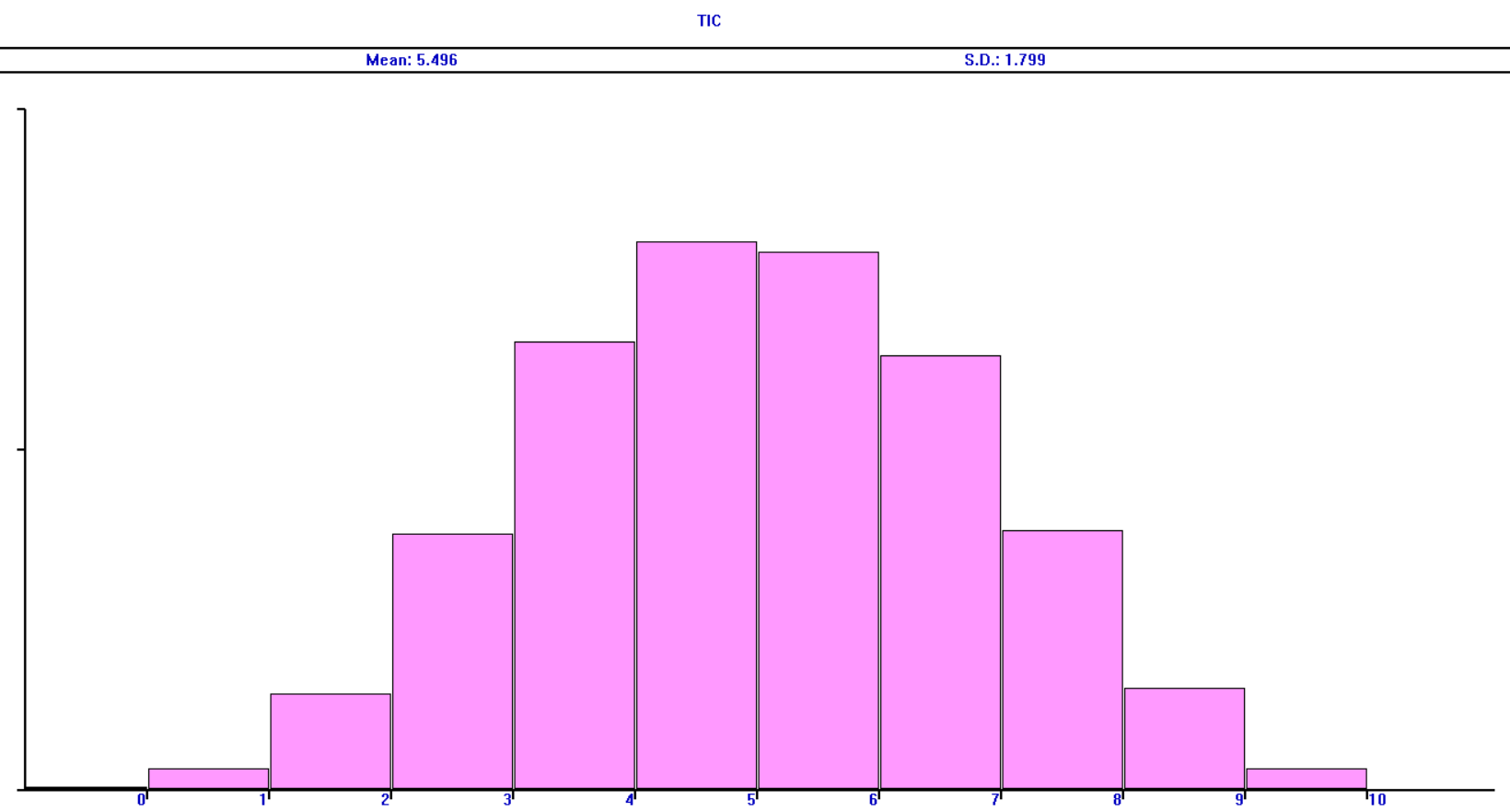
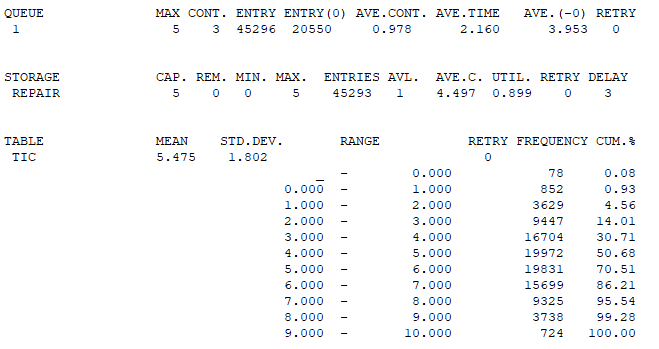


Рисунок 23. Отчет работы модели восстанавливаемой системы с очередью, где μ =λ

в) μ = 2λ

μ =2\*0.1 = 0.2

Время безотказной работы: ADVANCE (Exponential (1,0,10))

Время восстановления: ADVANCE (Exponential (1,0,5))

;

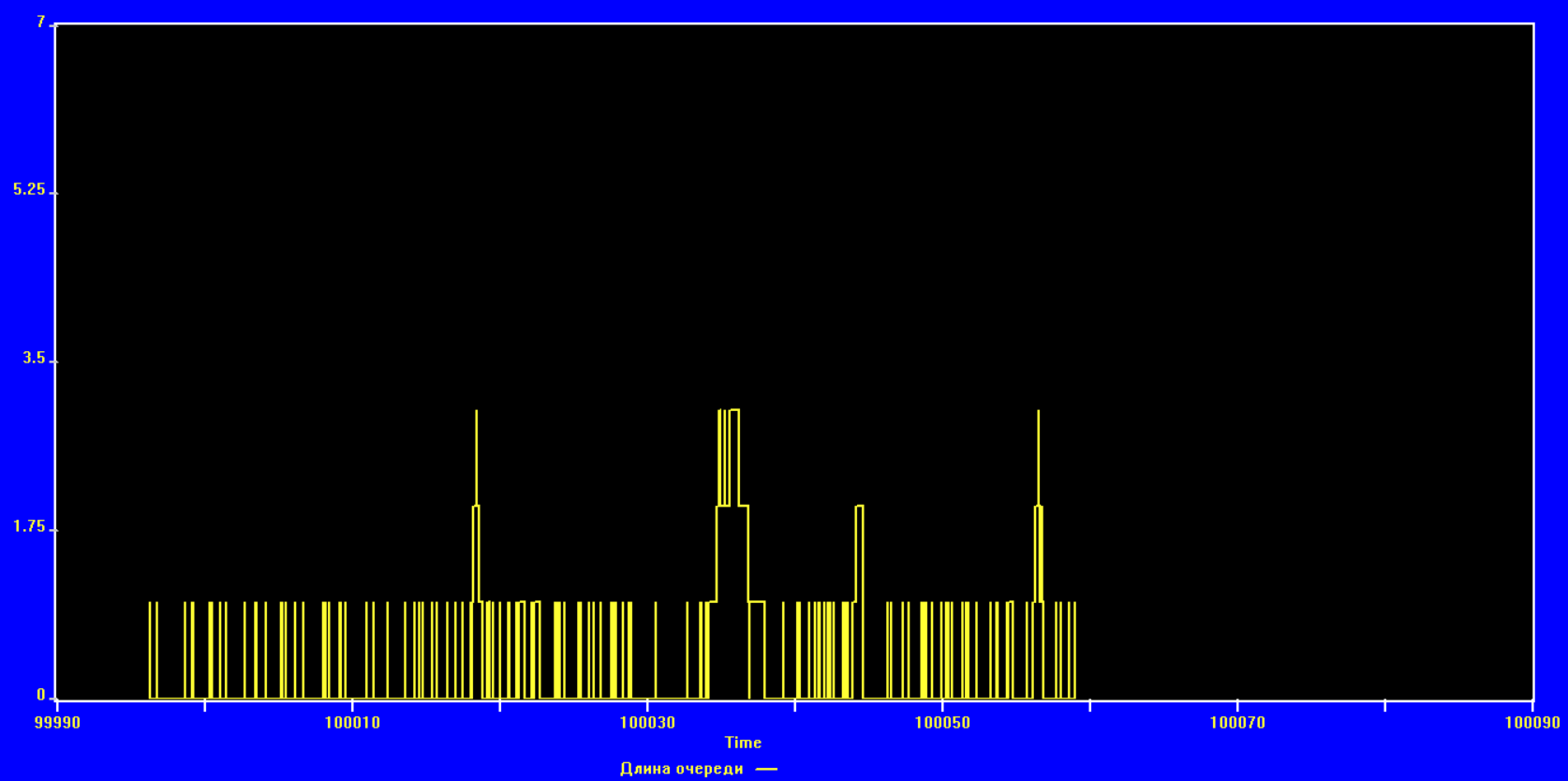
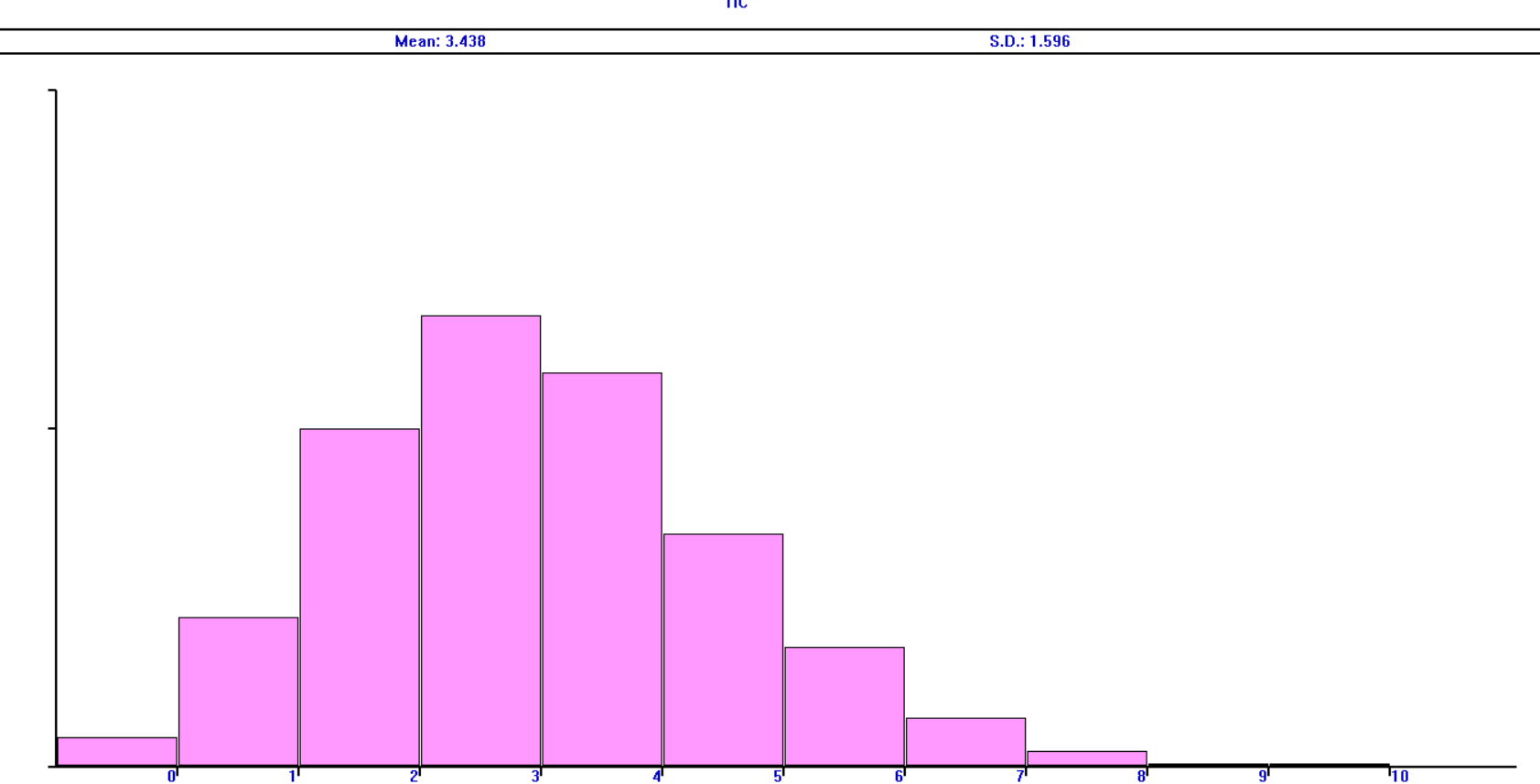
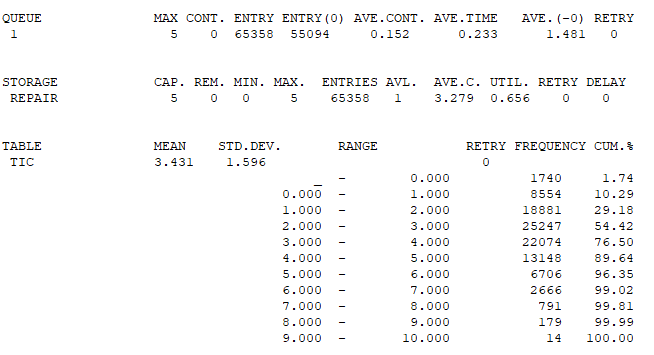


Рисунок 24. Отчет работы модели восстанавливаемой системы с очередью, где μ =2λ

г) μ =10λ

μ =10\*0.1= 1

Время безотказной работы: ADVANCE (Exponential (1,0,10))

Время восстановления: ADVANCE (Exponential (1,0,1))

;

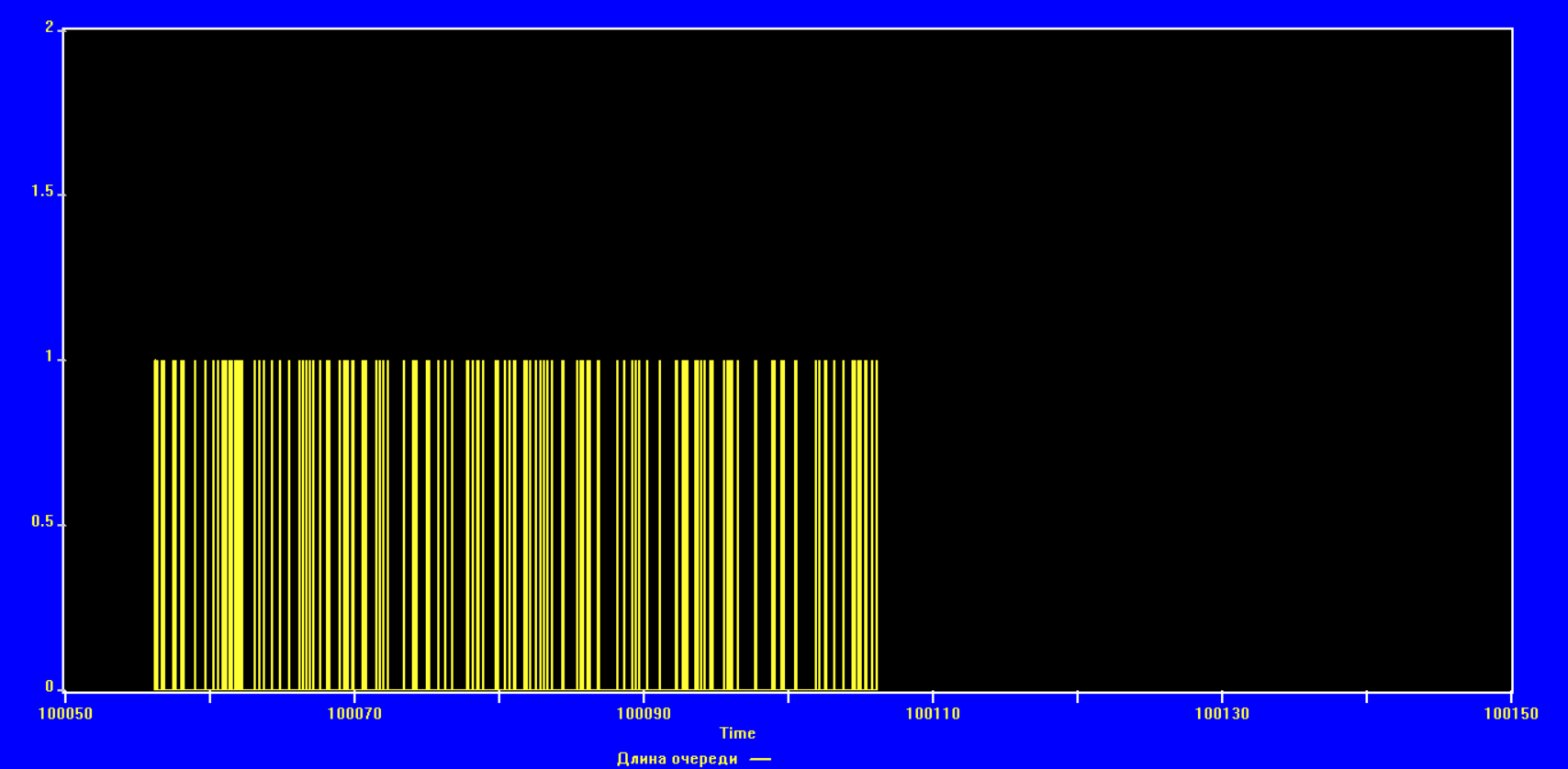
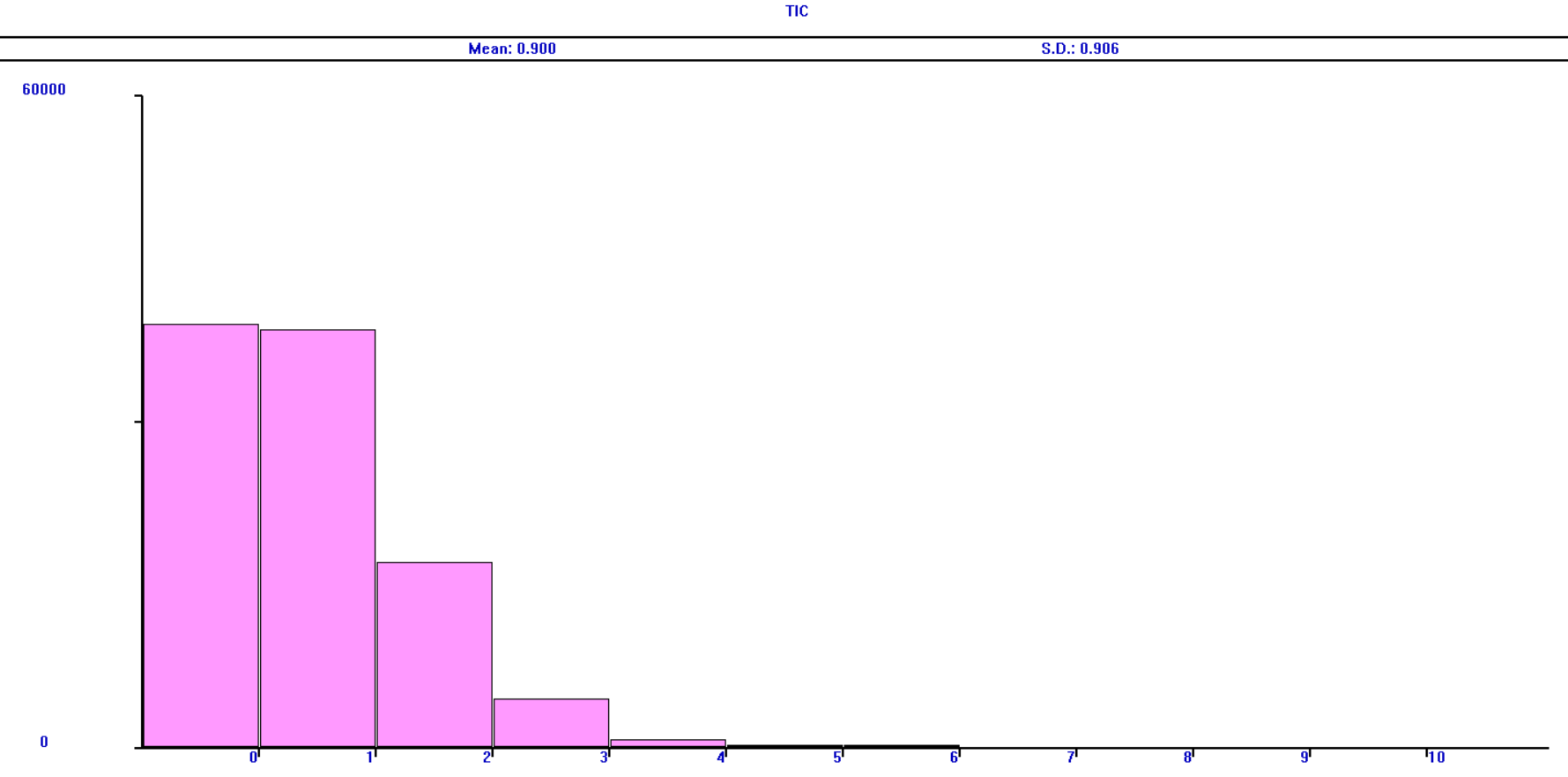
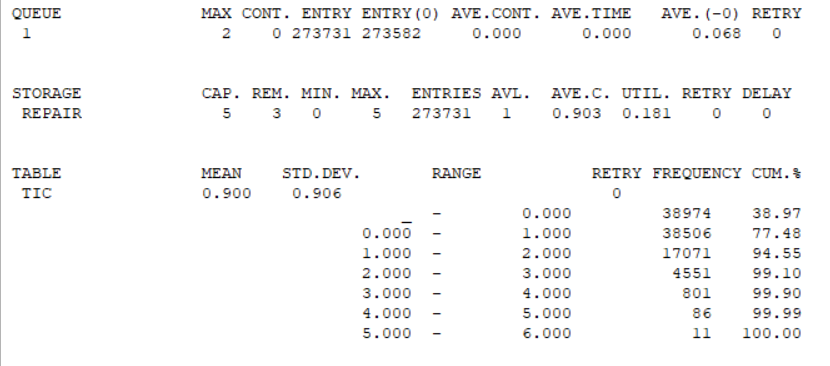


Рисунок 25. Отчет работы модели восстанавливаемой системы с очередью, где μ =10λ

Вывод: Можно заключить, что при наличии очереди и фиксированного количества каналов восстановления надежность системы определяется не только скоростью восстановления, но и тем, как распределяется нагрузка между этими каналами.

**7. Выполнить моделирование примеров, проведенных в п.7. Проанализировать работоспособность моделей при изменении входных данных (число каналов, параметры генерации, обслуживания, недоступности).**

Рассмотрим модель mku1.gps. В данной GPSS-модели имитируется работа трехканального устройства (МКУ), обслуживающего транспортные агенты (ТА). В начале моделирования (t = 0) создаются четыре ТА, три из которых сразу занимают каналы и проходят обслуживание в течение 10 единиц времени, а один ожидает. В момент t = 5 поступает еще один ТА, который делает устройство недоступным на 6 единиц времени. После восстановления доступности (t = 11) модель завершается.

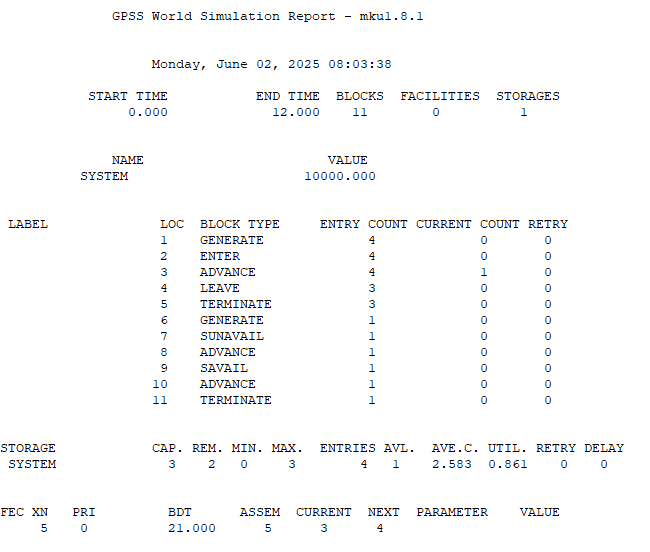


Рисунок 26. – Оригинальная модель

Увеличим число каналов модели до 4. Это означает, что все четыре транспортных агента, созданные в момент t = 0, смогут одновременно занять МКУ без ожидания. Остальная логика модели — обслуживание по 10 единиц времени, временная недоступность устройства с t = 5 до t = 11, и завершение моделирования после восстановления доступности — осталась без изменений. Таким образом, основное отличие — отсутствие очереди из-за увеличения числа каналов.

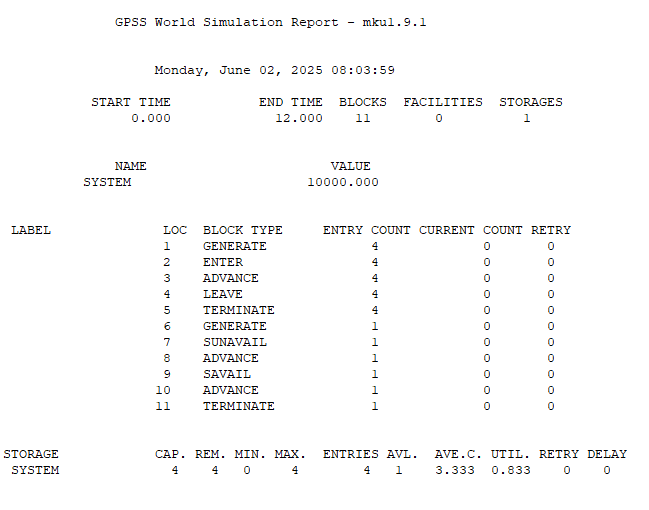


Рисунок 27. – Измененная модель

Уменьшим число каналом модели до 2. В сравнении с основной моделью, где МКУ имеет три канала, в данной модели количество каналов уменьшено до двух (STORAGE system, 2). Это приводит к тому, что из четырёх транспортных агентов, создаваемых в момент t = 0, только двое смогут сразу занять устройство, а остальные будут ожидать своей очереди. Таким образом, увеличивается длина очереди и время ожидания агентов. Остальная логика модели, включая период недоступности с t = 5 до t = 11, остаётся прежней. Главное отличие — снижение пропускной способности устройства, что приводит к большему накоплению заявок.

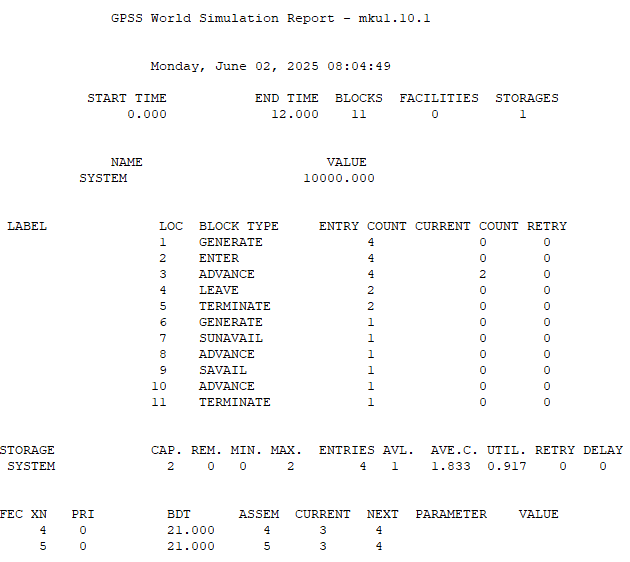


Рисунок 28. – Измененная модель с количеством каналом 2.

Изменим количество ТА в момент t0 до 8.

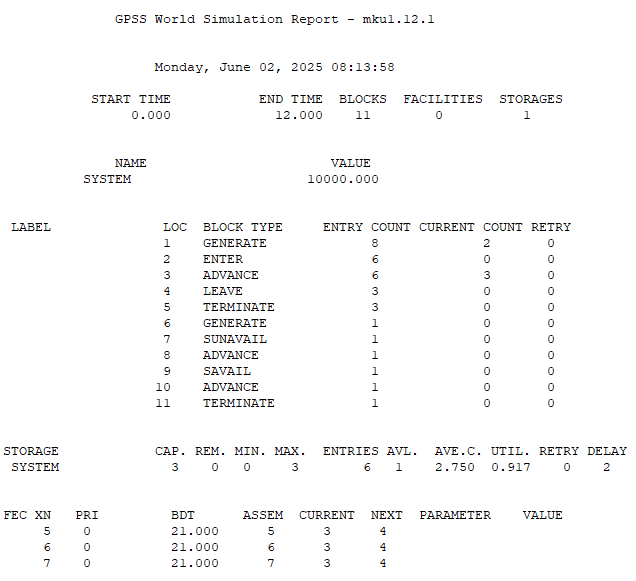


Рисунок 29. – Модель с ТА 8

REM. — оставшиеся свободные каналы: в первом отчёте 2 свободных, во втором 0 — устройство полностью занято.

AVE.C (среднее число занятых каналов) чуть увеличилось с 2.583 до 2.750 — больше загрузка.

UTIL (процент занятости) повысился с 86.1% до 91.7% — устройство более загружено.

DELAY — во втором отчёте есть задержка 2 (вероятно, заявки ожидали в очереди).

Вторая модель с 8 заявками показала более высокую загрузку и очереди, отражая работу системы под нагрузкой, в то время как первая — более спокойный режим с меньшим числом заявок и отсутствием задержек.

Далее изменим параметры обслуживания до 15.

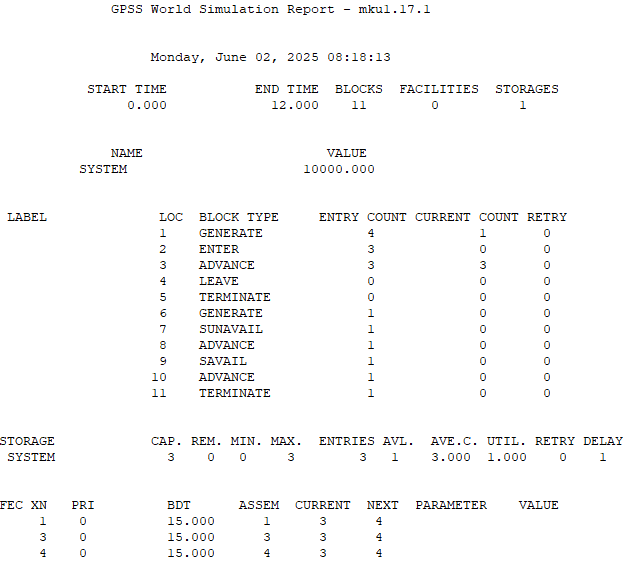


Рисунок 30. – Модель с параметрами обслуживания 15

В новой модели загрузка ресурса максимальна — средняя загрузка 3 и коэффициент использования 1, все три канала заняты постоянно, при этом возникла задержка. Обслужено 3 транзакции, но ресурс работает на пределе. В основной модели ресурс загружен меньше — средняя загрузка 2.58, коэффициент использования 0.86, каналов свободно больше, задержек нет. Обслужено 4 транзакции, ресурс используется менее интенсивно, что говорит о более быстром обслуживании или меньшей нагрузке.

Уменьшим коэффициент обслуживания до 5.

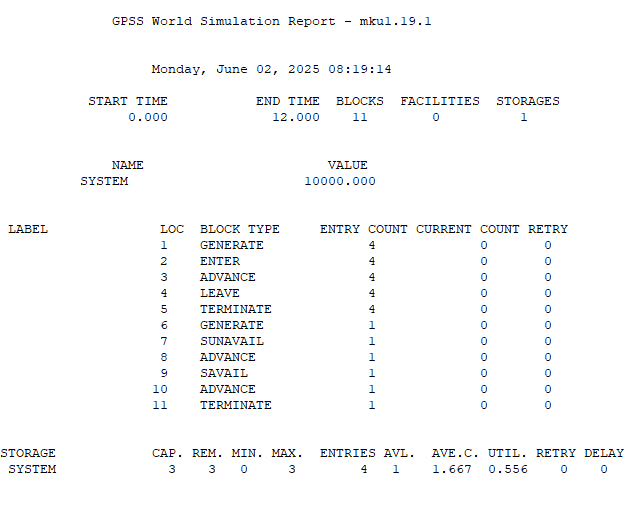


Рисунок 31. – Модель с параметрами обслуживания 15

Основная модель показывает среднюю загрузку 2.58 и коэффициент использования 0.86, ресурс почти полностью занят, обработано 4 транзакции без задержек. Новая модель показывает меньшую загрузку — 1.67 и коэффициент использования 0.56, ресурс менее загружен, также обработано 4 транзакции без задержек. Таким образом, в основной модели нагрузка выше и ресурс более интенсивно используется, а в новой — система менее загружена.

Увеличим параметр недоступности до 8 единиц времени

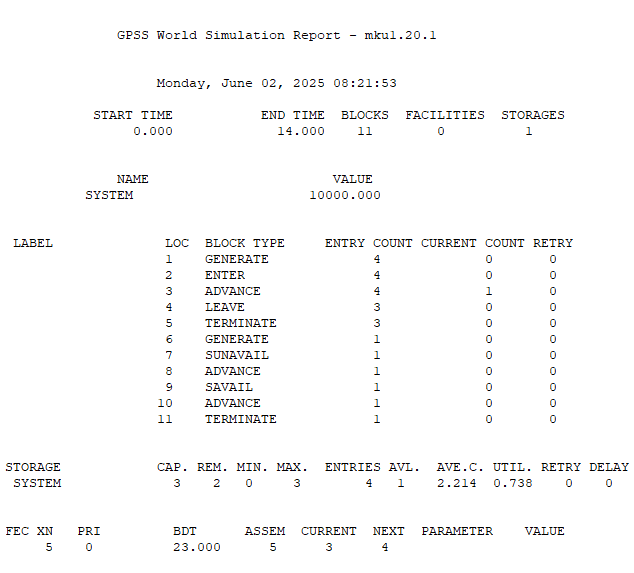


Рисунок 32. – Новая модель

В основной модели время моделирования увеличено до 14 единиц, что соответствует удлинённой недоступности МКУ. Количество созданных ТА и вошедших в устройство совпадает — по 4. Среднее число занятых каналов уменьшилось с 2.583 (в предыдущих моделях с меньшей недоступностью) до 2.214, а коэффициент использования упал до 0.738, что объясняется более длительным периодом недоступности (8 вместо 6 единиц времени). Остальные показатели (количество событий, текущие и повторные попытки) остались на нулевом уровне.

Итог: расширение периода недоступности привело к снижению средней загрузки системы и коэффициента её использования, а также к увеличению общей длительности моделирования.

**Выводы:** В рамках лабораторной работы проведены эксперименты по имитационному моделированию надежности систем с отказами и восстановлением в среде GPSS. Полученные результаты полностью совпали с аналитическими расчетами. Из этого можно сделать несколько ключевых выводов: применение резервирования значительно увеличивает среднее время безотказной работы системы; кроме того, эффективность восстановления существенно повышает устойчивость системы, особенно при высокой интенсивности процессов восстановления.