



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

Кафедра «Организация перевозок и дорожного движения»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА»**

Направление подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов»

Профиль: «Транспортная логистика»; «Организация перевозок на автомобильном транспорте»; «Интеллектуальные транспортные системы»

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2023

УДК 656

Составитель: Роговенко Т.Н.

Методические указания для выполнения контрольной работы по
дисциплине «Основы системного анализа» –
Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2023. – 18 с.

УДК 656

Методические указания предназначены для бакалавров заочной формы обучения по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов», профиль «Транспортная логистика», «Организация перевозок на автомобильном транспорте», «Интеллектуальные транспортные системы».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Донского
государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Организации перевозок и
дорожного движения» д-р техн. наук, профессор В.В. Зырянов

В печать ____ . ____ . 2023 г.
Формат 60×84/16. Объем ____ усл. п. л.
Тираж ____ экз. Заказ № ____

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2023

Теоретические основы

Теоретическими основами статистического анализа рассматриваемой транспортно-логистической системы являются: метод декомпозиции по функциональным критериям, вероятностно-статистические методы оценки распределений случайных величин, теория массового обслуживания.

Требования по выполнению и оформлению контрольной работы

Контрольная работа выполняется с применением информационных технологий. Все вычисления и графики выполняются в электронных таблицах (например, MS Excel), текст контрольной работы оформляется с помощью текстовых редакторов (например, MS Word) в соответствии с примерами из методических рекомендаций и общими требованиями по оформлению расчетно-пояснительной записки. Следует обратить внимание, что правила оформления методических указаний отличаются от правил оформления пояснительных записок. Оформлять контрольную работу следует в соответствии с ГОСТ 2.105-95 . На проверку следует сдавать (загружать на do.skif.donstu.ru) два файла: текст в формате .docx и расчеты в формате .xlsx. В имени файлов должны содержаться фамилия студента, группа и номер зачетки. Например: Иванов_ДТЗТЛЗ1_123456789.docx

Алгоритм выбора варианта контрольной работы

Для задания 1 выборки исходных данных следует получить у преподавателя. Для задания 2 номер теоретического вопроса равен последней цифре в номере зачетной книжки студента.

Задание 1

Построить структурно-логической схему зернового терминала. Провести статистическую обработка данных о входном потоке на терминал и о работе пункта разгрузки. Провести моделирование параметров работы элементов транспортно-логистической системы. Провести расчет показателей эффективности одноканальной и многоканальной СМО с отказами. Провести моделирование СМО зернового терминала с одним постом разгрузки

Пример выполнения и оформления контрольной работы

Построение структурно-логической схемы зернового терминала

Рассмотри зерновой терминал Ростовского мультимодального морского порта (рисунок 1).



Рисунок 1- Зерновой терминал ООО «РММП»

С работой порта можно ознакомиться на официальном сайте (qr-код в приложении А). Цель построения структурно-логической схемы (СЛС) – анализ транспортно-логистического процесса как системы массового обслуживания. В соответствии с целью в СЛС оставляем только те элементы всей системы порта, которые необходимы для анализа. Прослеживаем последовательность прохождения всех постов зерновозом и располагаем на схеме пройденный элементы в порядке прохождения. В результате получаем последовательную систему элементов, представленную на рисунке 2.

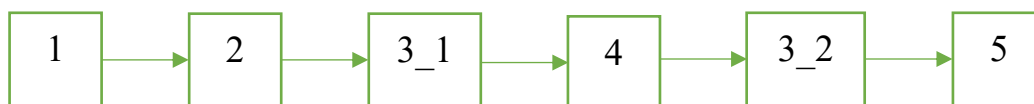


Рисунок 2 – Структурно-логическая схема зернового терминала:
1 -КПП (въезд), 2 – лаборатория, 3_1 и 3_2 – весовая, 4 – пост разгрузки, 5 – КПП (выезд)

Статистическая обработка данных о входном потоке на терминал

В качестве случайного параметра, влияющего на эффективность системы, выберем интервал прибытия ТС на терминал для разгрузки Δt , мин.

Исходными данные получены с контрольно-пропускного пункта терминала и представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные о времени прибытия ТС

ID ТС в системе	Время прибытия
195478	13:15:00
195479	13:19:00
141564	13:23:00
195480	13:26:00
195481	13:27:00
321205	13:41:00
195482	13:52:00
595195	14:01:00
195483	14:16:00
195484	14:17:00

Известно, что Δt подчиняется экспоненциальному закону, функция распределения которого имеет вид:

$$F(\Delta t) = 1 - e^{-\lambda \Delta t},$$

где λ - интенсивность прибытия ТС и может быть определена по формуле:

$$\lambda = 1/M(\Delta t),$$

где $M(\Delta t)$ – матожидание случайной величины Δt . Результат вычислений представлен на рисунке 2. Графики функции распределения $F(\Delta t)$ и плотности вероятности $f(\Delta t)$ представлены на рисунках 3-4. Красные точки на графиках соответствуют исходным данным об интервалах прибытия ТС.

ID ТС в системе	Время прибытия	Δt , мин	
195478	13:15:00	0	
195479	13:19:00	4	
141564	13:23:00	4	
195480	13:26:00	3	
195481	13:27:00	1	
321205	13:41:00	14	
195482	13:52:00	11	
595195	14:01:00	9	
195483	14:16:00	15	
195484	14:17:00	1	
$M(\Delta t)$		= 6,2	мин
$\lambda = 1/M(\Delta t)$		= 0,16129	1/мин

Рисунок 2. Скрин листа электронных таблиц с результатами вычисления интенсивности прибытия ТС

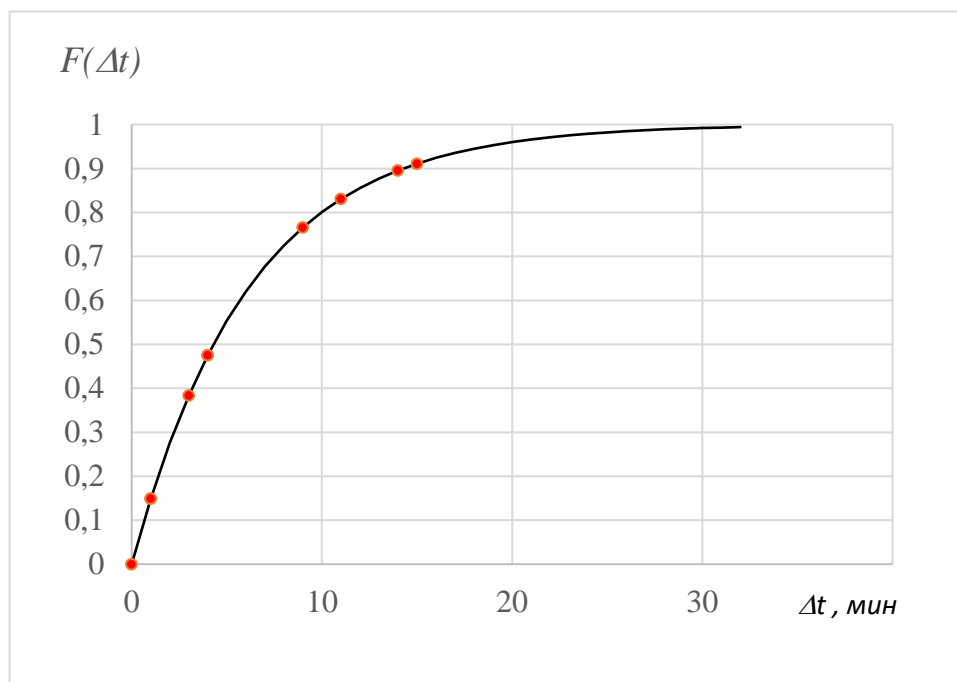


Рисунок 3. Функция распределения интервалов прибытия ТС

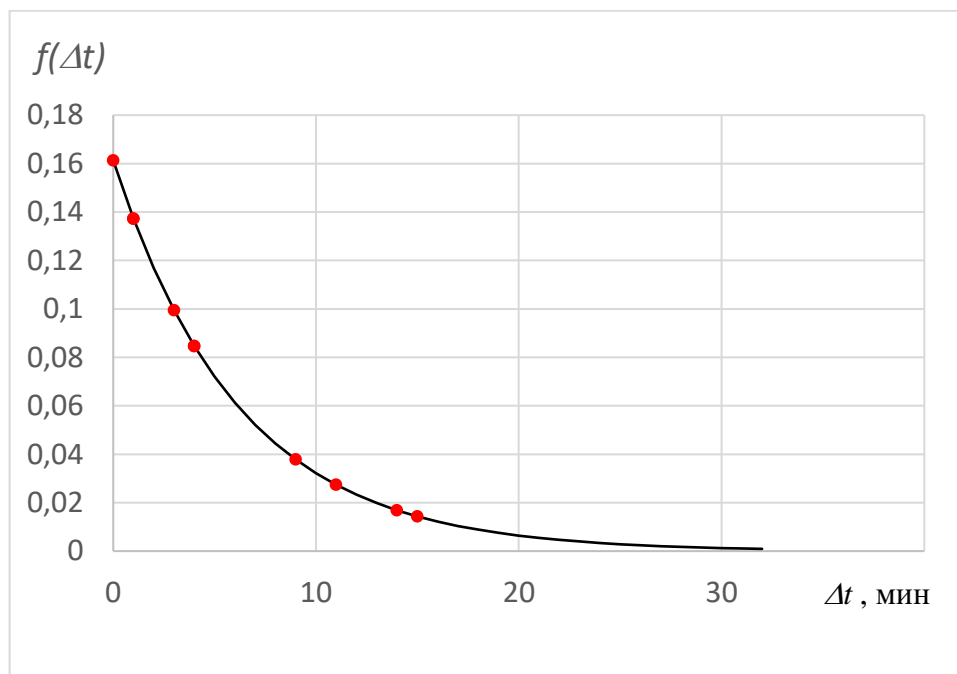


Рисунок 3. Плотность вероятности интервалов прибытия ТС

Статистическая обработка данных о работе пункта разгрузки

Отказы автомобилеразгрузчика на зерновом терминале приводят к увеличению времени обслуживания прибывших ТС. Исходные данные о времени восстановления оборудования могут быть получены из журнала учета наработки оборудования терминала. В таблице 2 представлены данные, по которым может быть определено время восстановления автомобилеразгрузчика.

Таблица 2. Данные о времени работы оборудования

№	Дата и время включения		Дата и время выключения	
1	25.07.2016	13:15	30.07.2016	13:15
2	31.07.2016	13:15	14.08.2016	14:00
3	15.08.2016	3:00	10.09.2016	15:05
4	11.09.2016	4:05	15.09.2016	23:00
5	16.09.2016	0:00	16.09.2016	17:15
6	17.09.2016	8:15	30.10.2016	18:05
7	31.10.2016	10:05	01.11.2016	7:15
8	02.11.2016	18:15	02.11.2016	20:15
9	02.11.2016	22:15	22.12.2016	20:15
10	23.12.2016	7:15	02.02.2017	2:15
11	03.02.2017	14:15	12.02.2017	23:15
12	13.02.2017	7:15	16.02.2017	10:31
13	17.02.2017	22:31	18.2.2017	12:18
14	19.02.2017	20:18	11.3.2017	18:47
15	12.03.2017	1:47	12.03.2017	18:6
16	13.03.2017	23:06	16.3.2017	8:19
17	17.03.2017	0:19	18.3.2017	9:35
18	19.03.2017	9:35	27.3.2017	4:17
19	28.03.2017	15:17	30.3.2017	7:7
20	31.03.2017	15:07	6.4.2017	6:50
21	07.04.2017	14:50	12.4.2017	15:43
22	13.04.2017	16:43	13.04.2017	7:28
23	13.04.2017	14:28	18.4.2017	15:52
24	19.04.2017	19:52	28.4.2017	14:46
25	29.04.2017	4:46	29.4.2017	14:12
26	30.04.2017	22:12	20.5.2017	15:41
27	21.05.2017	15:51	24.5.2017	21:56
28	25.05.2017	22:05	26.5.2017	7:13
29	27.05.2017	13:13	12.6.2017	17:14
30	13.06.2017	19:14	16.6.2017	11:25
31	17.06.2017	1:25	17.06.2017	19:24
32	17.06.2017	20:24	28.6.2017	15:1
33	29.06.2017	6:01	12.7.2017	22:52
34	13.07.2017	5:52	24.7.2017	21:45
35	25.07.2017	5:45	25.7.2017	22:43
36	26.07.2017	23:43	26.8.2017	10:48
37	27.08.2017	18:48	6.9.2017	3:26
38	07.09.2017	9:26	11.9.2017	5:27
39	12.09.2017	8:27	17.9.2017	1:11
40	18.09.2017	19:11	21.9.2017	14:54
41	22.09.2017	19:54	13.10.2017	4:29

42	14.10.2017	7:29	16.10.2017	16:56
43	17.10.2017	20:56	29.10.2017	22:27
44	30.10.2017	13:27	1.11.2017	9:26
45	02.11.2017	22:26	26.11.2017	4:22
46	27.11.2017	16:22	4.12.2017	19:47
47	05.12.2017	3:47	21.12.2017	21:39
48	22.12.2017	4:39	22.12.2017	2:42
49	23.12.2017	7:42	25.12.2017	18:23
50	26.12.2017	1:23	27.12.2017	20:55

Случайной величиной является время восстановления оборудования $t_{\text{в}}$, ч. По данным из таблицы 2 можно получить выборку $t_{\text{в}i}$ ($i=1, 2, \dots, n$) объема $n=49$. Средствами надстроек электронных таблиц либо с использованием соответствующих статистических функций можно получить ряд параметров описательной статистики (таблица 3).

Таблица 3. Описательная статистика

$t_{\text{в}}, \text{ч}$	
Среднее	8,224
Стандартная ошибка	0,780
Медиана	8
Мода	8
Стандартное отклонение	5,463
Дисперсия выборки	29,844
Эксцесс	-0,032
Асимметричность	0,459
Минимум	0
Максимум	24

Для построения гистограммы требуется задать значения границ интервалов, которые в электронных таблицах называются «карманом». Количество интервалов можно определить по формуле Стерджеса:

$$k=1+[3.322 \cdot \lg(n)]=1+[3.322 \cdot \lg(49)]=1+5=6$$

На рисунках 5-6 представлены возможные варианты карманов и соответствующие им гистограммы.



Рисунок 5-Результат построения гистограммы для кармана по формуле Стерджеса

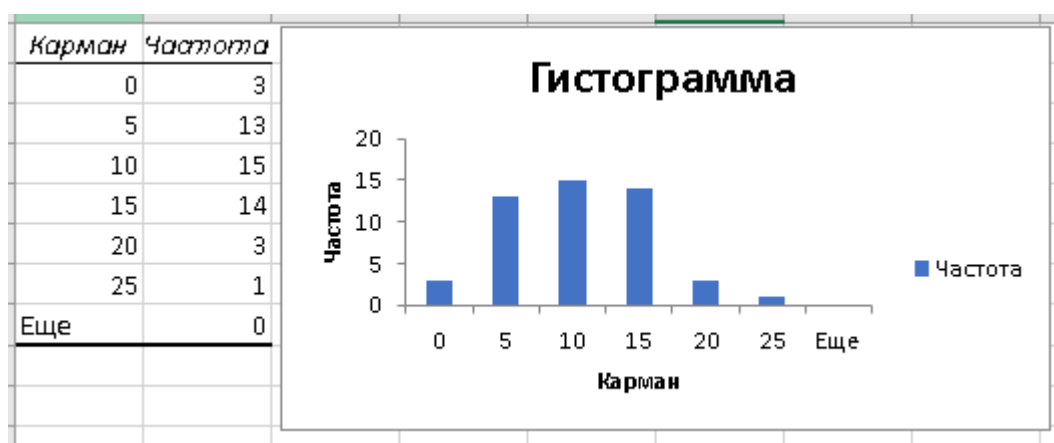


Рисунок 6-Результат построения гистограммы для пяти интервалов
 Для построения эмпирической функции распределения (рисунок 7) сначала нужно получить вариационный ряд

$$t_{\theta 1} \leq t_{\theta 2} \leq \dots \leq t_{\theta n},$$

затем определить эмпирические вероятности $F_i = i/n$ ($i=1, 2, \dots, n$).

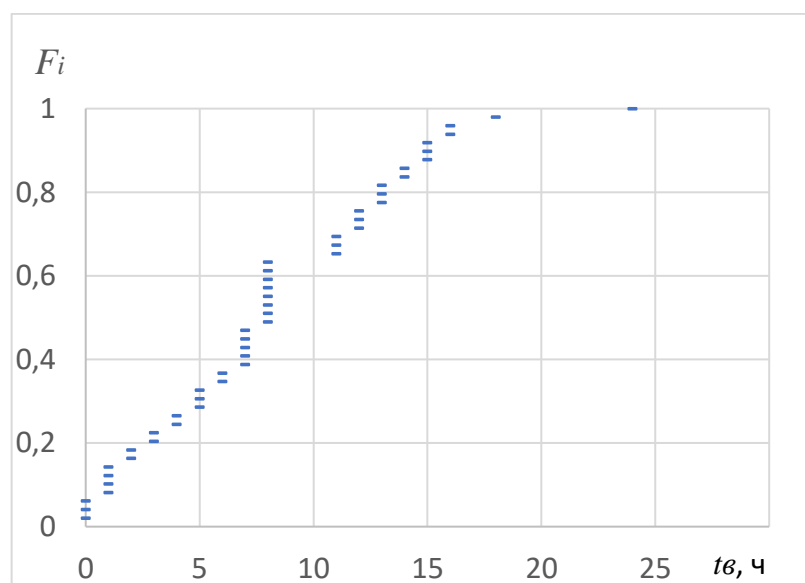


Рисунок 7- Эмпирическая функция распределения
 времени восстановления оборудования t_{θ}

Описательная статистика и гистограмма на пяти интервалах показывают, что t_{θ} имеет симметричное распределение и можно выдвинуть гипотезу о

нормальном законе распределения с параметрами $\mu=8,224$ и $\sigma=5,463$ (рисунок 8).

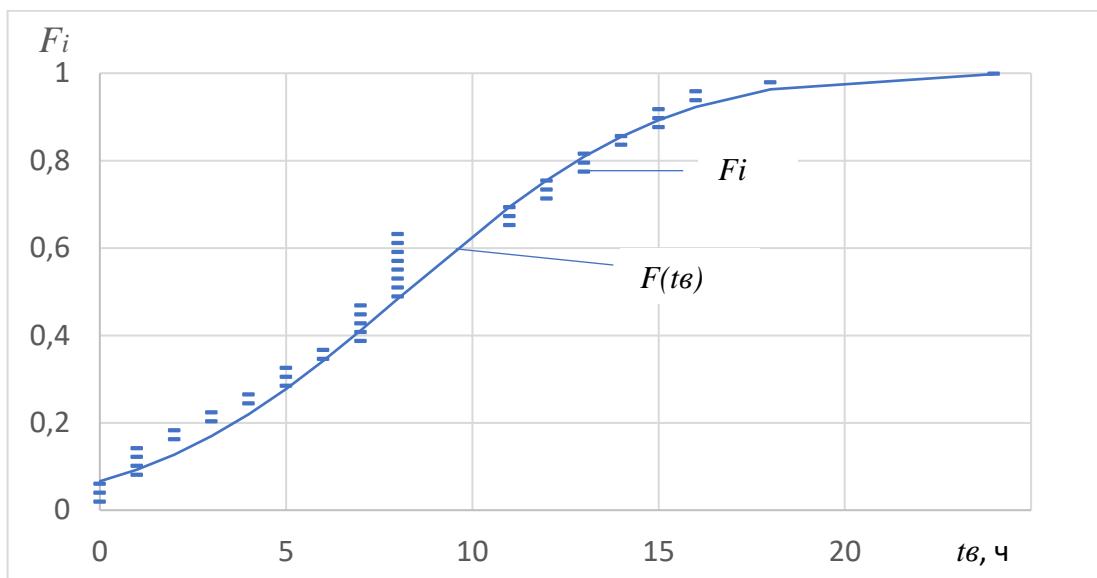


Рисунок 8- Эмпирическая F_i и теоретическая $F(t_6)$ функции распределения времени восстановления оборудования t_6

Для проверки гипотезы о нормальном распределении применим два критерия: Пирсона и Колмогорова. Следует задать вероятность $\alpha=0,05-0,1$. Определить степень свободы $m=6-1$. Рассчитать значение критерия χ^2 по формуле:

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^k \frac{\left(n_i/n - (F(x_i) - F(x_{i-1})) \right)^2}{(F(x_i) - F(x_{i-1}))}$$

где n_i — количество значений выборки, попавших в i -ый интервал для гистограммы («частота» на рисунках 5-6), $F(x_i)$ — значение теоретической функции распределения в точке x_i .

Расчетное значение критерия χ^2 сравниваем с критическим значением, полученным с помощью стандартной функции в электронных таблицах для заданных α и m . Если расчетное значение больше критического, то нулевая гипотеза отклоняется.

Для применения критерия Колмогорова следует найти

$$D_n = \max_i |F_i - F(t_{Bi}))|$$

и вычислить критическое значение по формуле:

$$K_\alpha = \sqrt{-\frac{\ln(\alpha/2)}{2}}.$$

Если произведение $D_n\sqrt{n} > K_\alpha$, то нулевая гипотеза отклоняется. Результаты проверки гипотезы о распределении времени восстановления оборудования t_e приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты применения критериев согласия

Параметр	Значение
Вероятность α	0,05
Критерий Пирсона	
Степень свободы m	5
χ^2 расчетный	1,66
χ^2 критический	11,07
Вывод:	Нулевая гипотеза о нормальном распределении не отклоняется
Критерий Колмогорова	
$D_n\sqrt{n}$	1,04
K_α	1,36
Вывод:	Нулевая гипотеза о нормальном распределении не отклоняется

Статистическая обработка данных о времени восстановления автомобилеразгрузчика показала, что выборка имеет размах 24 часа, может быть описана с вероятностью 95% нормальным законом с матожиданием 8,224 ч и дисперсией 29,844.

Моделирование параметров работы элементов транспортно-логистической системы

Моделирование интервалов прибытия ТС Δt , мин на терминал. Статистическое моделирование состоит из двух этапов: генерация случайных чисел и вычисление необходимого параметра в зависимости от них. Для моделирования Δt используем экспоненциальное распределение из примера 2:

$$F(\Delta t) = 1 - e^{-\lambda \Delta t}.$$

Вероятность F генерируем как случайную величину, равномерно распределенную на интервале $[0;1]$. Интервалы прибытия ТС вычисляем по формуле:

$$\Delta t = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - F)$$

Результат моделирования 10 значений показан на рисунке 9. Красные точки - экспериментальные данные

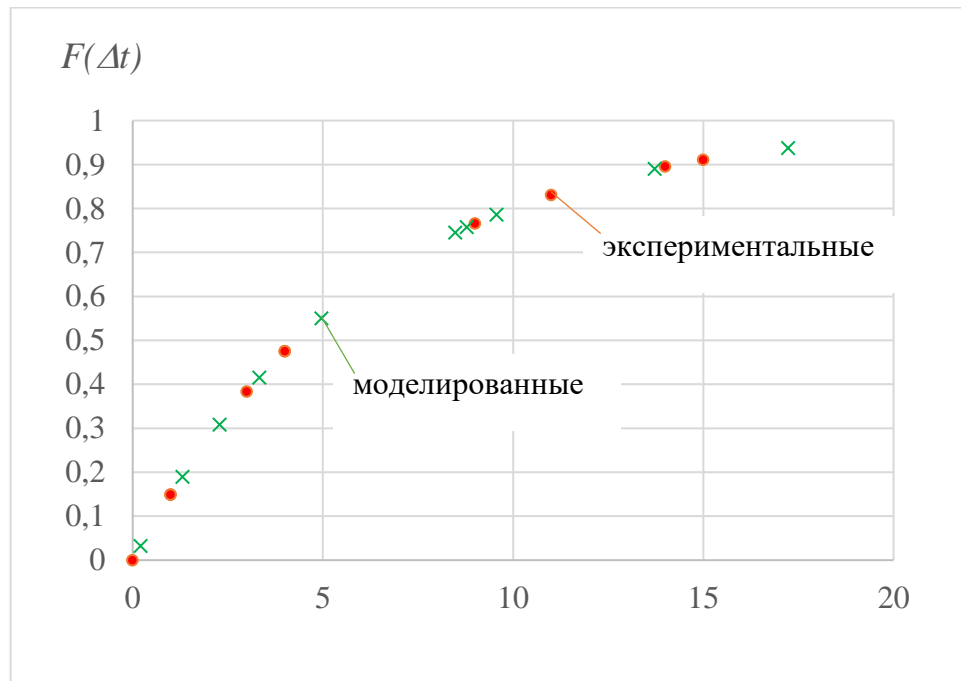


Рисунок 9 – Функции распределения интервалов прибытия ТС

Качество моделирования можно проверить, применив критерий Вилкоксона. Нулевая гипотеза состоит в том, что обе выборки экспериментальная и смоделированная принадлежат одной генеральной совокупности. Для применения критерия следует определить суммарное число инверсий U по двум выборкам и задать уровень значимости $\alpha=0,05-0,1$. Если суммарное число инверсий U попадает в интервал

$$(u - \Phi(1-\alpha/2) \cdot S; u + \Phi(1-\alpha/2) \cdot S),$$

то нулевая гипотеза не отвергается. Здесь $u = n \cdot n_{\text{мод}} / 2$, $S = (n + n_{\text{мод}} + 1) \cdot n \cdot n_{\text{мод}} / 12$, $\Phi(1-\alpha/2)$ - функция Лапласа.

На рисунке 10 представлен один из возможных вариантов расчета числа инверсий.

экспериментальные	моделированные			
Δt , мин	Δt , мин	F(Δt)		Инверсии
0	8,784650491	0,75753	0	
4	3,328520426	0,415418	0,203883	1
4	17,22934177	0,937895	1	
3	1,306767071	0,190039	1	
1	4,958805089	0,550584	1,306767	3
14	13,72543489	0,890713	2,287235	3
11	9,566231081	0,786248	3	
9	2,28723531	0,308512	3,32852	4
15	8,483080548	0,745445	4	
1	0,203883495	0,03235	4	
			4,958805	6
			8,483081	6
			8,78465	6
			9	
			9,566231	7
			11	
			13,72543	8
			14	
			15	
			17,22934	10
			U=	54

Рисунок 10 – Скрин электронных таблиц с результатами моделирования и определения числа инверсий

Для $U=54$, $n=10$, $n_{\text{мод}}=10$, $\alpha=0,05$ получим интервал (24;76). Так как сумма инверсий удовлетворяет условию $24 \leq U \leq 76$, то нулевая гипотеза не отвергается.

Расчет показателей эффективности одноканальной СМО с отказами

В качестве случайных параметров, влияющих на эффективность системы, выберем время обслуживания ТС на терминале t_i , мин и интервал убытия ТС после обслуживания на терминале Δt_o , мин. Исходными данные получены с контрольно-пропускного пункта терминала и представлены в таблице 5.

Таблица 5. Данные о времени прохождения через терминал

ID ТС в системе	Время прибытия	Время убытия
195478	13:15:00	14:11:00
195479	13:19:00	14:19:00
141564	13:23:00	14:28:00
195480	13:26:00	14:26:00
195481	13:27:00	14:26:00
321205	13:41:00	14:43:00
195482	13:52:00	14:59:00
595195	14:01:00	14:56:00
195483	14:16:00	15:08:00
195484	14:17:00	15:17:00

Известно, что Δt_o подчиняется экспоненциальному закону, функция распределения которого имеет вид:

$$F(\Delta t_o) = 1 - e^{-\mu \Delta t_o},$$

где μ - интенсивность убытия ТС (интенсивность выходящего потока) и может быть определена по формуле:

$$\mu = 1/M(\Delta t_o),$$

где $M(\Delta t_o)$ – матожидание случайной величины Δt_o . Вычисление Δt_o и построение графиков функции распределения $F(\Delta t_o)$ и плотности вероятности $f(\Delta t_o)$ проводим аналогично примеру 2 (рисунок 11).

Аналогично примеру 3 получим результаты описательной статистики:

- Среднее 59.6
- Медиана 60
- Мода 60
- Стандартное отклонение 4.50,
- которые дают основание предполагать нормальное распределение времени обслуживания на терминале. Функции распределения времени обслуживания представлены на рисунке 12.

Далее можно определить показатели эффективности зернового терминала как одноканальной СМО с отказами. Показатели, формулы для расчета и результаты вычислений приведены в таблице 6

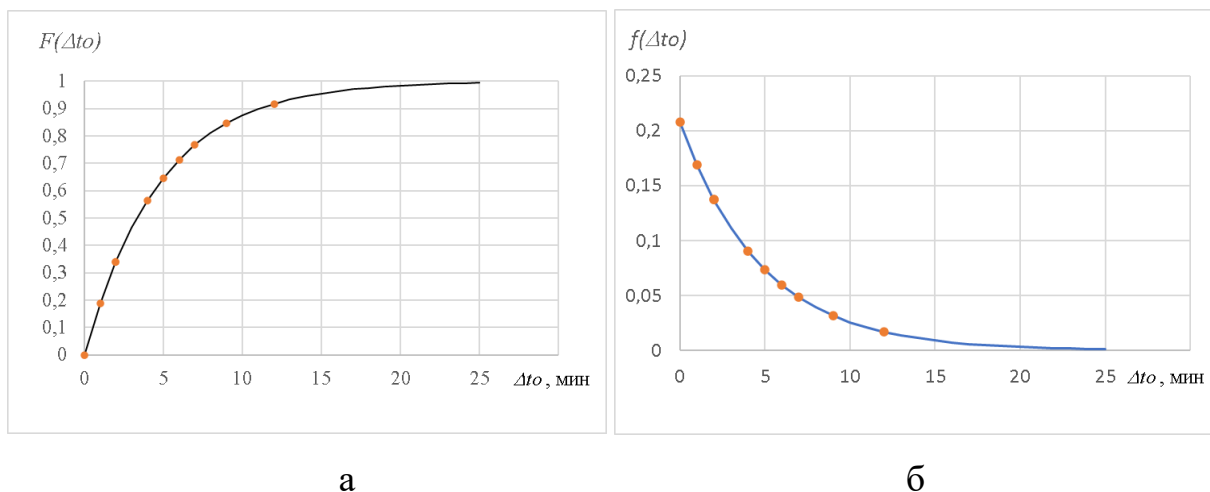


Рисунок 11 - Распределение интервалов убытия ТС с терминала при интенсивности $\mu = 0,1875$ 1/мин: а – функция распределения, б – плотность вероятности

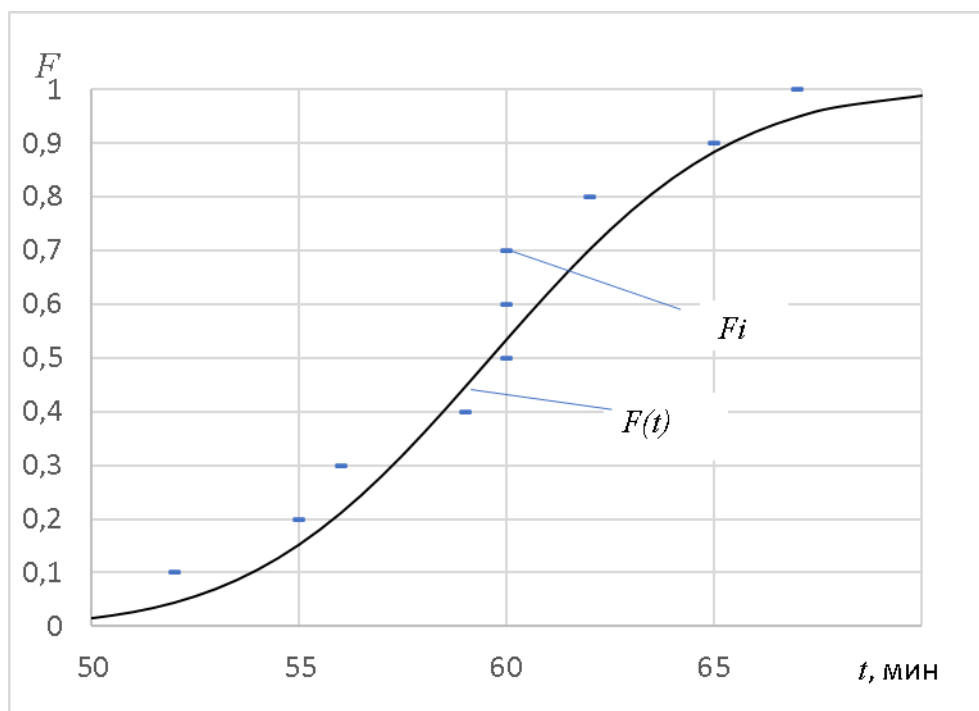


Рисунок 12- Эмпирическая F_i и теоретическая $F(t)$ функции распределения времени обслуживания t

Таблица 6. Показатели одноканальной СМО с отказами

Показатель	Обозначение	Формула	Результат
Интенсивность входящего потока	λ	$\lambda = 1/M(\Delta t)$	0,1613
Среднее время обслуживания	t_{serv}	$M(t_i)$	59,6
Интенсивность потока	ν	$\nu = 1/t_{serv}$	0,0168

обслуживаний			
Предельная вероятность того, что система свободна	P_0	$P_0 = \nu / (\lambda + \nu)$	0,09408
Предельная вероятность того, что система занята	P_1	$P_1 = \lambda / (\lambda + \nu)$	0,9059
Вероятность того, что заявка будет обслужена	P_{serv}	$P_{serv} = P_0$	0,09408
Вероятность того, что заявка получит отказ	P_{otk}	$P_{otk} = P_1$	0,90592
Приведенная интенсивность потока	ρ	$\rho = \lambda / \nu$	0,8602
Относительная пропускная способность СМО	Q	$Q = 1 - P_{otk}$	0,0941
Абсолютная пропускная способность СМО	A	$A = \lambda Q$	0,0152
Интенсивность выходящего потока	μ	$\mu = 1 / M(\Delta t_o)$	0,1875

Параметры работы одноканальной СМО с отказами, определенные по данным таблицы 5 показывают высокую загруженность системы, так как вероятность обслуживания следующей заявки меньше 1% и абсолютная пропускная способность равна 0,91 машины в час при среднем времени обслуживания 59,7 минут.

Расчет показателей эффективности многоканальной СМО с отказами

Рассмотри терминал с двумя пунктами разгрузки, работающими параллельно. Исходными данные получены с контрольно-пропускного пункта терминала и представлены в таблице 7.

Таблица 7. Данные о времени прохождения через терминал

ID ТС в системе	Время прибытия	Время убытия
195478	13:15:00	13:38:00
195479	13:19:00	13:49:00
141564	13:23:00	13:55:00
195480	13:26:00	13:56:00
195481	13:27:00	13:55:00
321205	13:41:00	14:13:00
195482	13:52:00	14:26:00

595195	14:01:00	14:27:00
195483	14:16:00	14:43:00
195484	14:17:00	14:47:00

Вероятности обслуживания определяются по формулам Эрланга:

$$P_k = \frac{\lambda^k}{k! \nu^k} P_0 ,$$

$$P_0 = \left(1 + \frac{\lambda}{\nu} + \frac{\lambda^2}{2! \nu^2} + \dots + \frac{\lambda^n}{n! \nu^n} \right)^{-1} ,$$

где $1 \leq k < n$, n – количество каналов обслуживания ($n=2$). Показатели СМО, формулы для расчета и результаты вычислений приведены в таблице 7.

Таблица 8. Показатели двухканальной СМО с отказами

Показатель	Обозначение	Формула	Результат
Интенсивность входящего потока	λ	$\lambda = 1/M(\Delta t)$	0,161
Среднее время обслуживания	t_{serv}	$M(t_i)$	59,6
Интенсивность потока обслуживаний	ν	$\nu = 1/ t_{serv}$	0,017
Приведенная интенсивность потока	ρ	$\rho = \lambda/ \nu$	9,629
Предельная вероятность того, что система свободна	P_0	$P_0 = \left(1 + \frac{\lambda}{\nu} + \frac{\lambda^2}{2 \nu^2} \right)^{-1}$	0,018
Предельная вероятность того, что занят 1 канал	P_1	$P_1 = \rho P_0$	0,169
Предельная вероятность того, что система занята	P_2	$P_2 = \rho^2 P_0 / 2$	0,813
Вероятность того, что заявка получит отказ	P_{otk}	$P_{otk} = P_2$	0,813
Относительная пропускная способность СМО	Q	$Q = 1 - P_{otk}$	0,187
Абсолютная пропускная	A	$A = \lambda Q$	0,030

способность СМО			
Среднее число занятых каналов	K_{cp}	$K_{cp} = A / \nu$	1,796
Коэффициент загрузки	$K_{заг}$	$K_{заг} = K_{cp} / 2$	0,898
Коэффициент простоя каналов	$K_{пр}$	$K_{пр} = 1 - K_{заг}$	0,102
Вероятность того, что заявке не будет отказано	P_{serv}	$P_{serv} = P_0$	0,018

Задание 2.

Следует дать развернутый ответ на один из вопросов из списка. Номер теоретического вопроса равен последней цифре в номере зачетной книжки (студенческого билета) студента. Объем ответа не менее 2 страниц (, шрифт Times New Roman, 14 пт, интервал 1,5).

1. Понятие системы. Основные понятия, характеризующие систему.
2. Классификация систем. Состояние и трансформация системы.
3. Способы описания системы. Графические способы функционального описания систем.
4. Свойства систем. Закономерности систем.
5. Жизненный цикл системы.
6. Понятие системного подхода. Понятие цели. Дерево целей.
7. Понятие управления. Общая схема системы управления.
8. Аналитические методы в системном анализе. Задачи линейного программирования.
9. Графические методы в системном анализе. Понятие графа. Виды графов. Связь графических и аналитических методов: матрица смежности, матрица инцидентий.
0. Методы теории принятия решений в системном анализе. Общий алгоритм принятия решений, метод априорного ранжирования. Методы принятия технических решений.

Приложение А

