

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Информационные и вычислительные системы»  
Дисциплина «Надёжность информационных систем»

**ОТЧЁТ**  
**ПО ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №3**  
**«Расчёт единичных и комплексных показателей надёжности»**  
Вариант 16

Выполнил:  
студент группы ИВБ-211

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись)

А. Шефнер

Проверил:  
к.т.н., доцент кафедры «ИВС»

\_\_\_\_\_  
(дата, подпись)

Е.Н. Шаповалов

Санкт-Петербург  
2025

## ЗАДАНИЕ

### Цель работы

Выразить предложение по доработке системы с учётом расчётных показателей надёжности

### Выполнить:

Рассчитать показатели надёжности для исходной и доработанной системы. Построить графики зависимостей показателей надёжности.

### Исходные данные

Таблица 1. Исходные данные о надёжности элементов

$\lambda_i, \text{час}^{-1}$	$\lambda_i^{\text{д}}, \text{час}^{-1}$	$t_{\text{в}i}, \text{час}$	$t_3, \text{час}$
$9 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	10	100
$7 \cdot 10^{-4}$		24	500
$8 \cdot 10^{-4}$		16	1000
$3 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	20	10000

Таблица 2. Виды ТО системы в течение цикла

1	2	3
ГТО	ГТО+ПГТО	ГТО+ПГТО+КвТО

## ХОД РАБОТЫ

### Задание 1

Найти:

1. интенсивность отказов системы  $\Lambda_c$
2. математическое ожидание наработки системы до отказа  $T_c$
3. Вероятность безотказной работы системы (ВБР) системы в течение заданного времени  $P_{\hat{T}_c}(t_3)$  (четвертый столбец таблицы 1) для экспоненциального распределения.

#### Решение

1.  $\Lambda_c = \sum \lambda_i = 0.0027 \cdot \text{час}^{-1}$
2.  $T_c = \frac{1}{\Lambda_c} = 370.37 \cdot \text{час}$
3.  $P_{\hat{T}_c}(t_3) = e^{-\lambda t}$ 
  - $P_{\hat{T}_c}(100 \cdot \text{час}) = 0.7633794943368533$
  - $P_{\hat{T}_c}(500 \cdot \text{час}) = 0.25924026064589156$
  - $P_{\hat{T}_c}(1000 \cdot \text{час}) = 0.06720551273974978$
  - $P_{\hat{T}_c}(10000 \cdot \text{час}) = 0.00000000000187952881653909$

### Задание 2

Сравнить полученные показатели надежности (ПН) системы с ПН элементов, сделать выводы.

#### Решение

Можно сравнить среднюю наработку до отказа отдельных элементов и системы.

- Для  $\lambda_1 = 9 \cdot 10^{-4} \text{час}^{-1}$ ,  $T_{c,1} = 1111$
- Для  $\lambda_2 = 7 \cdot 10^{-4} \text{час}^{-1}$ ,  $T_{c,2} = 1428$
- Для  $\lambda_3 = 8 \cdot 10^{-4} \text{час}^{-1}$ ,  $T_{c,3} = 1250$
- Для  $\lambda_4 = 3 \cdot 10^{-4} \text{час}^{-1}$ ,  $T_{c,4} = 3333$

Можно заметить, что средняя наработка до отказа систему ( $\approx 370$  час) значительно меньше средней наработки каждого отдельного элемента. Это говорит о том, что система менее надёжна её самого ненадёжного элемента.

### Задание 3

Построить график зависимости  $P_{\hat{T}_c}(t_3)$ .

#### Решение

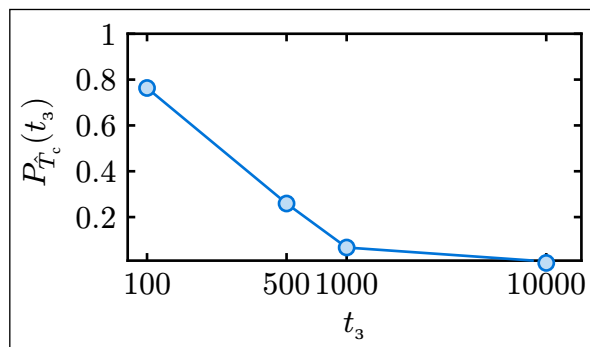


Рисунок 1. График зависимости  $P_{\hat{T}_c}(t_3)$

#### Задание 4

Рассчитать гамма-процентное время наработки системы до отказа при различных значениях при различных значениях. Результаты занести в таблицу 3. Построить график зависимости  $T_\gamma(\gamma)$ .

#### Решение

Чтобы вычислить гамма-процентное время до отказа, можно решать уравнение:

$$\begin{aligned}P(t) &= \gamma \\e^{-\lambda t} &= \gamma \\\ln(e^{-\lambda t}) &= \ln(\gamma) \\-\lambda t &= \ln(\gamma) \\t &= -\frac{\ln(\gamma)}{\lambda}\end{aligned}$$

Таблица 3. Гарантированное время безотказной работы системы

$\gamma, \%$	90	95	99	99.5
$T_\gamma, \text{ час}$	39.02241	18.99752	3.72235	1.8565

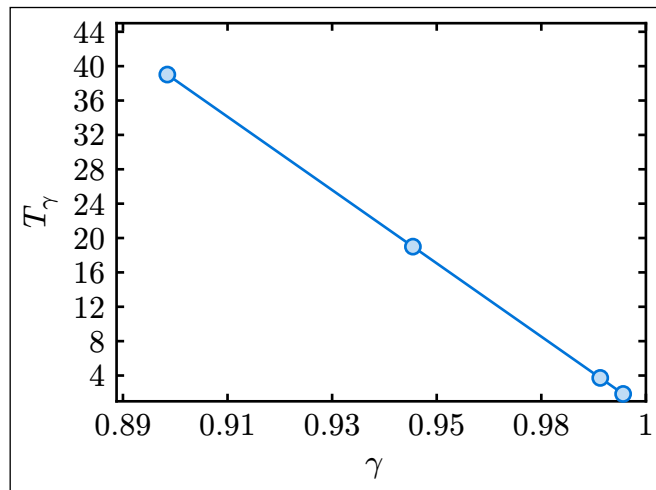


Рисунок 2. График зависимости гарантированного времени безотказной работы системы от  $\gamma$

#### Задание 5

Рассчитать среднее время восстановления системы  $\bar{T}_{\text{вс}}$ . Сделать выводы о соотношении  $\bar{T}_{\text{вс}}$  с  $t_{\text{в}i}$ .

#### Решение

Среднее время восстановления системы вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned}\bar{T}_{\text{в}} &= \sum_{i=1}^4 \bar{t}_{\text{в},i} \cdot \frac{\lambda_i}{\Lambda_{\text{с}}} \\ \bar{T}_{\text{в}} &= 10 \cdot \frac{9 \cdot 10^{-4}}{0.0027} + 24 \cdot \frac{7 \cdot 10^{-4}}{0.0027} + 16 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-4}}{0.0027} + 20 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-4}}{0.0027}\end{aligned}$$

$$\overline{T}_в = 16.51852$$

Можно сделать вывод, что среднее время восстановления системы является средневзвешанной оценкой времени восстановления отдельных её элементов.

### Задание 6

Рассчитать среднее время восстановления системы после повышения надежности (доработок) некоторых элементов (второй столбец таблицы 1). Сделать выводы о том, какие ПН системы улучшились, а какие ухудшились, и подкрепить их расчетами.

### Решение

Можно вычислить базовые показатели надёжности на примере предыдущих заданий с учётом доработки.

$$\Lambda_{сд} = \sum_{i=1}^4 \lambda_{д,i} = 0.0019 \cdot \text{час}^{-1}$$

$$T_{сд} = \frac{1}{\Lambda} = 526.31579 \cdot \text{час}$$

$$\overline{T}_{вд} = \sum_{i=1}^4 \bar{t}_{в,i} \cdot \frac{\lambda_{д,i}}{\Lambda_{сд}} = 18.21053 \text{ час}$$

Можно сделать вывод, что система после доработки стала значительно надёжнее. Несмотря на то, что время восстановления немного увеличилось, средняя наработка до отказа увеличилась на 42%.

### Задание 7

Рассчитать коэффициент готовности системы в конце межрегламентного периода и средний коэффициент готовности системы при условии, что ее состояние не контролируется для различных вариантов регламентных работ (таблица 2). Построить график изменения коэффициента готовности от времени (в течение цикла).

### Решение

Из предыдущего задания, коэффициент готовности для экспоненциального распределения невосстанавливаемой системы:

$$K_r = P_t(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\overline{K}_r = \frac{1}{t_n} \int_0^{t_n} e^{-\lambda t} dt = \frac{1 - e^{-\lambda t_n}}{\lambda t_n}$$

В следующей таблице приведены расчёты коэффициента готовности для разных периодов обслуживания

Таблица 4. КГ в конце периода обслуживания и средний КГ исходной системы

вид ТО	период, час	КГ в конце периода	средний КГ
ГТО	8760	5.3465e-11	4.2280e-2
ГТО+ПГТО	4380	7.3120e-6	8.4559e-2
ГТО+ПГТО+КвТО	2190	2.7041e-3	1.6866e-1

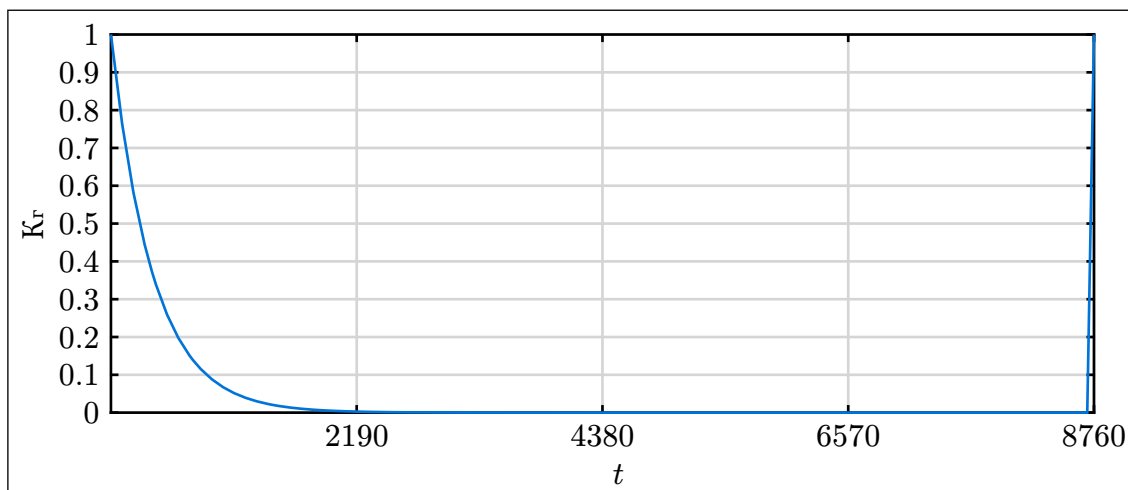


Рисунок 3. КГ доработанной системы при ГТО

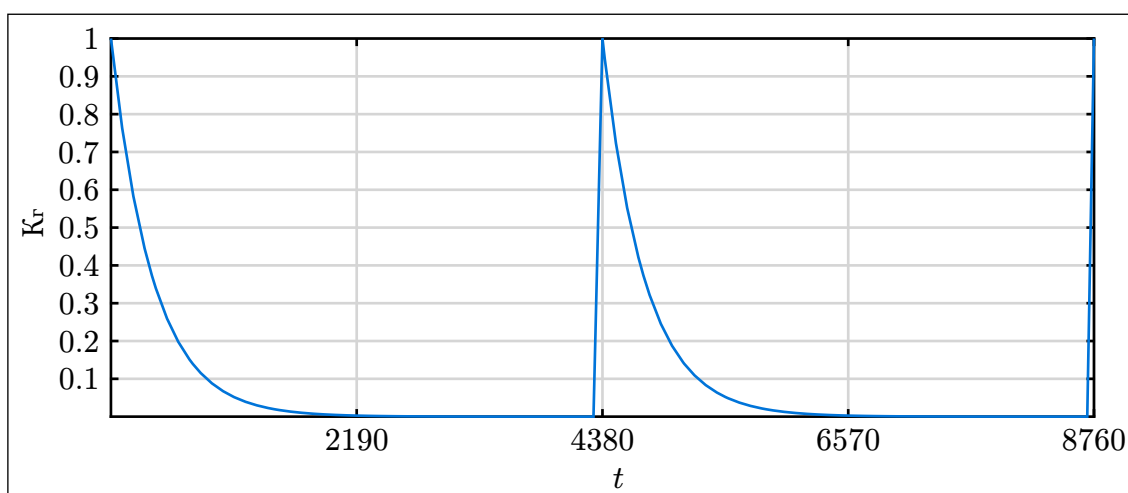


Рисунок 4. КГ доработанной системы при ПГТО+ГТО

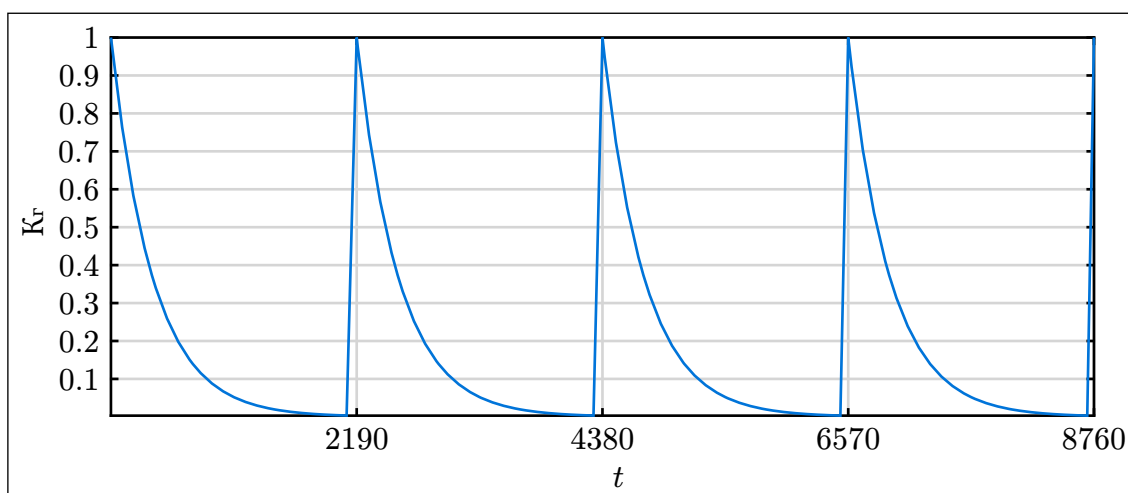


Рисунок 5. КГ доработанной системы при ГТО+ПГТО+КвТО

### Задание 8

Рассчитать коэффициент готовности доработанной системы (второй столбец таблицы 1) в конце межрегламентного периода и средний коэффициент готовности доработанной системы при условии, что ее состояние не контролируется для различных вариантов

регламентных работ (таблица 2). Построить график изменения среднего коэффициента готовности от продолжительности межрегламентного периода.

### Решение

Расчёты аналогичны предыдущему заданию и приведены в следующей таблице.

Таблица 5. КГ в конце периода обслуживания и средний КГ доработанной системы

вид ТО	период, час	КГ в конце периода	средний КГ
ГТО	8760	5.9102e-8	6.0082e-2
ГТО+ПГТО	4380	2.4311e-4	1.2013e-1
ГТО+ПГТО+КвТО	2190	1.5592e-2	2.3658e-1

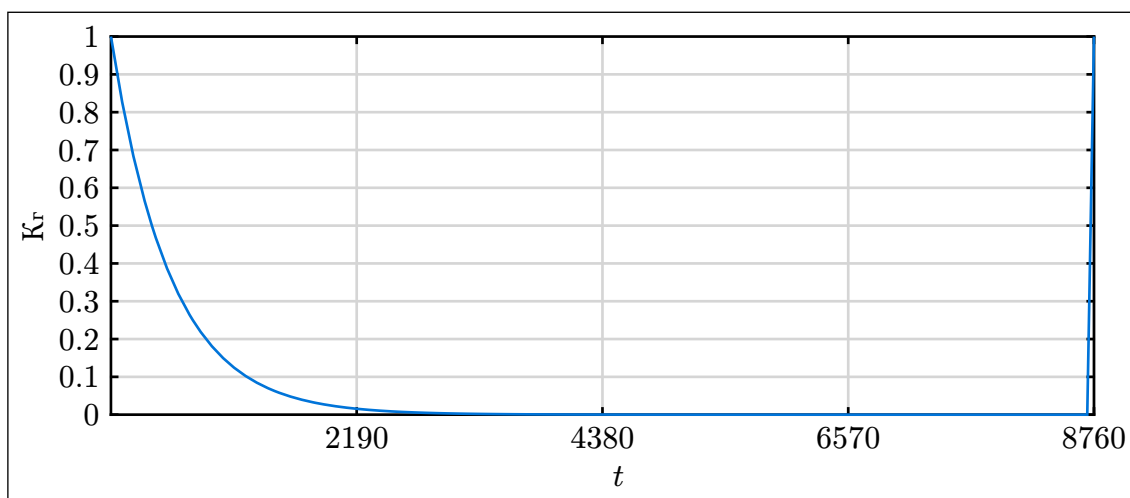


Рисунок 6. КГ доработанной системы при ГТО

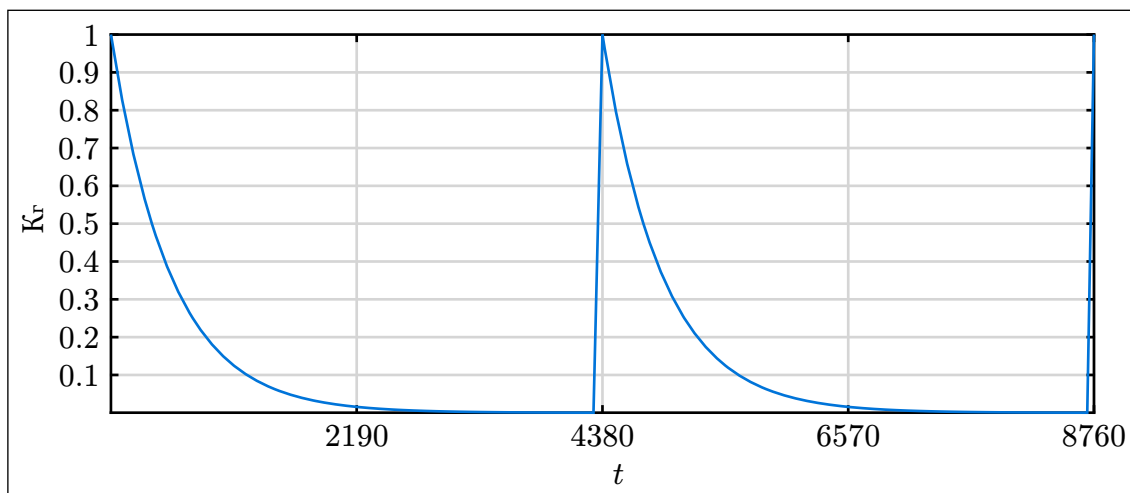


Рисунок 7. КГ доработанной системы при ПГТО+ГТО

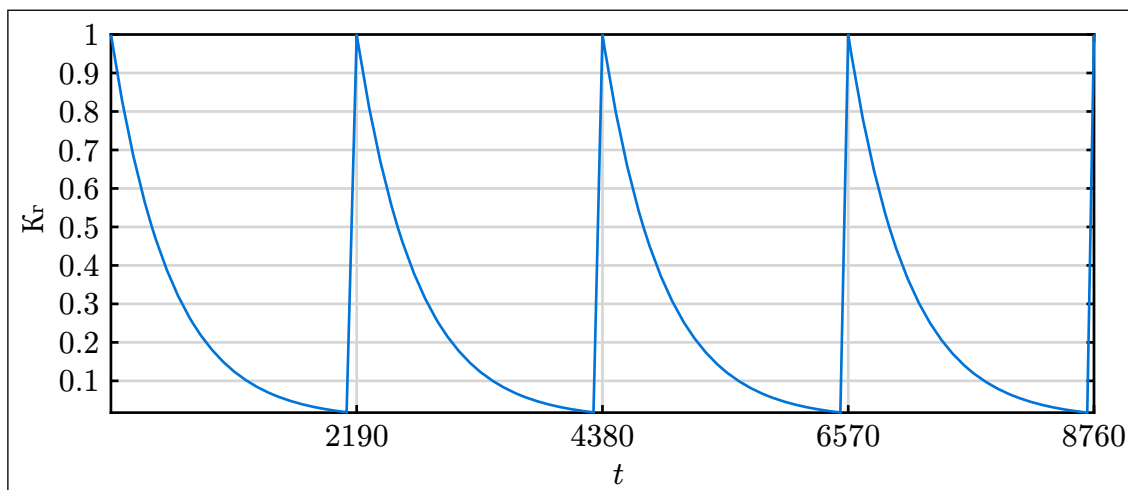


Рисунок 8. КГ доработанной системы при ГТО+ПГТО+КвТО

### Задание 9

Рассчитать коэффициент готовности (средний и стационарный) системы при условии, что система непрерывно контролируется в межрегламентный период для различных вариантов регламентных работ (таблица 2). Сравнить результаты, сделать выводы. Построить график изменения среднего коэффициента готовности от продолжительности межрегламентного периода.

### Решение

Коэффициент восстановления можно найти очень просто:

$$\mu = \frac{1}{T_b} = \frac{1}{[16.51851851851852]} = 0.06053811659192825$$

Тогда формула коэффициента готовности для контролируемой системы примет вид (из предыдущего ПЗ):

$$\bar{K}_r \approx \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[ 1 + \frac{\lambda}{\mu t_n (\lambda + \mu)} \right]$$

Результаты расчётов представлены на следующей таблице.

Таблица 6. КГ в конце периода обслуживания и средний КГ непрерывно контролируемой исходной системы

вид ТО	период, час	КГ в конце периода	средний КГ
ГТО	8760	9.573042e-1	9.573813e-1
ГТО+ПГТО	4380	9.573042e-1	9.574584e-1
ГТО+ПГТО+КвТО	2190	9.573042e-1	9.576125e-1

### Задание 10

Рассчитать коэффициент готовности (средний и стационарный) доработанной системы при условии, что система непрерывно контролируется в межрегламентный период для различных вариантов регламентных работ (таблица 2). Сравнить результаты, сделать выводы.



### Решение

Таблица 7. КГ в конце периода обслуживания и средний КГ непрерывно контролируемой доработанной системы

вид ТО	период, час	КГ в конце периода	средний КГ
ГТО	8760	9.665571e-1	9.666243e-1
ГТО+ПГТО	4380	9.665571e-1	9.666915e-1
ГТО+ПГТО+КвТО	2190	9.665571e-1	9.668259e-1

### Задание 11

Рассчитать коэффициент оперативной готовности исходной и доработанной системы, не контролируемой в межрегламентный период, за заданное время (четвертый столбец таблицы 1).

### Решение

Коэффициент оперативной готовности есть произведение среднего коэффициента готовности и вероятности безотказной работы в единый промежуток времени

$$K_{ог}(t) = \overline{K}_r(t) \cdot P_{T_c}(t)$$

На таблице далее приведены значения КОГ для различных промежутков времени исходной и доработанной системы

Таблица 8. КГ в конце периода обслуживания и средний КГ непрерывно контролируемой доработанной системы

	$K_{ог}$ исходной системы	$K_{ог}$ доработанной системы
$t = 100$	6.69005e-1	7.53146e-1
$t = 500$	1.42248e-1	2.49655e-1
$t = 1000$	2.32181e-2	6.69462e-2
$t = 10000$	6.96122e-14	2.94884e-10

### Задание 12

Рассчитать коэффициент оперативной готовности исходной и доработанной системы, непрерывно контролируемой в межрегламентный период, за заданное время (четвертый столбец таблицы 1).

### Решение

Таблица 9. КГ в конце периода обслуживания и средний КГ непрерывно контролируемой доработанной системы

	$K_{ог}$ исходной системы	$K_{ог}$ доработанной системы
$t = 100$	7.35940e-1	8.04171e-1
$t = 500$	2.48522e-1	3.74263e-1
$t = 1000$	6.43815e-2	1.44655e-1
$t = 10000$	1.79941e-12	5.41575e-9

### Задание 13

Рассчитать коэффициент технического использования системы при различных значениях продолжительности регламентных работ.

**Решение**

Коэффициент технического использования вычисляется по формуле:

$$K_{\text{ти}} = \frac{T_{\text{с}}}{T_{\text{с}} + T_{\text{в}} + T_{\text{рр}}}$$

Результаты вычислений для исходной и доработанной системы при различных режимах регламентных работ приведена на таблице

Таблица 10. Коэффициент технического использования

$T_{\text{рр}}$	$K_{\text{ти}}$ исх. системы	$K_{\text{ти}}$ дор. системы
ГТО	0.9455896757104884	0.9455902498406576
ГТО+ПГТО	0.8390707287813013	0.8390716329141887
ГТО+ПГТО+КвТО	0.6847900388057504	0.6847912432322031