

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

СОГЛАСОВАНО:

Выпускающей кафедрой
«Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»

Зав. кафедрой _____ А.В. Горелик
(подпись, Ф.И.О.)

« ____ » _____ 20 ____ г.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор - директор Российской -
открытой академии транспорта

_____ В.И. Апатцев
(подпись, Ф.И.О.)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Кафедра: «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»
(название кафедры)

Авторы: Неваров П.А., к.т.н, доц.
(ф.и.о., ученая степень, ученое звание)

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ №2

«Теория безопасности движения поездов»

(название дисциплины)

Направление/специальность: **190901.65. Системы обеспечения движения поездов**
(код, наименование специальности /направления)

Профиль/специализация: «Энергоснабжение железных дорог», «Автоматики и телемеханика на железнодорожном транспорте», «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта»

Квалификация (степень) выпускника: **специалист**

Форма обучения: **заочная**

Одобрена на заседании Учебно-методической комиссии РОАТ Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г Председатель УМК _____ (подпись, Ф.И.О.)	Одобрена на заседании кафедры «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г. Зав. кафедрой _____ А.В. Горелик (подпись, Ф.И.О.)
---	--

Москва 2014 г.

ОЦЕНКА РИСКОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Риск функционирования объекта инфраструктуры (ОИ) определяется соотношением вероятностью риска по безотказности $P_{ОИ}$, возможной величиной ущерба из-за задержек поездов и устранения отказов $C_{сум}$, вероятностью риска по безопасности $P_{АО}$ и уровнем тяжести последствий при нарушении безопасности движения поездов. В качестве ОИ в задаче рассматривается железнодорожная станция. Исходные данные для определения риска по безотказности для ОИ приведены в таблицах 1 – 5 (в качестве элемента ОИ рассматривается эталонный комплекс управления стрелкой).

Таблица 1 – Интенсивность использования элемента ОИ

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
λ_1 , 1/ч	6,71	3,18	1,16	3,72	4,25	0,82	4,74	0,70	8,40	0,59

Таблица 2 – Средняя длительность использования элемента ОИ

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T_u , ч	0,028	0,091	0,036	0,071	0,032	0,066	0,084	0,030	0,016	0,046

Таблица 3 – Интенсивность отказов элемента ОИ

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
λ_2 , 10^{-5} 1/ч	2,46	8,25	2,79	4,81	1,49	8,74	2,87	7,72	9,76	4,92

Таблица 4 – Количество элементов ОИ

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n_s , 1/ч	178	166	155	28	100	119	130	154	142	112

Таблица 5 – Интенсивность восстановления элемента ОИ после отказа

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
μ_2 , 1/ч	0,8	1,5	1,4	2,0	0,9	0,6	1,7	1,2	1,9	1,3

Таблица 6 - Исходные данные для определения риска по безотказности для ОИ

Обозначение показателя	Наименование показателя	Значение показателя
\overline{C}_y^{nc}	средняя стоимость одного часа простоя поезда, тыс. руб.	3,393*
\overline{C}_y^{on}	средняя стоимость одной дополнительной остановки поезда, тыс. руб.	0,12746**
T_p	расчётный период, ч	26280

* - взято из «Антонова В. Д. Определение экономической эффективности инвестиций в устройства автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте: методические рекомендации. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – 41 с.» с учётом инфляции 45%;

** - взято из «Себестоимость железнодорожных перевозок: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Н.Г. Смехова, А.И. Купоров, Ю.Н. Кожевников и др.; Под ред. Н.Г. Смеховой и А.И. Купорова. – М.: Маршрут, 2003» с учётом инфляции 97,4%

Таблица 7 – Коэффициент, учитывающий долю опасных отказов ОИ

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
k	0,0086	0,0020	0,0027	0,0067	0,0032	0,0016	0,0037	0,0042	0,0008	0,0047

Таблица 8 – Уровень тяжести последствий при нарушении безопасности движения поездов

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уровень тяжести последствий	незначительный	серьёзный	критический	катастрофический	бедственный	незначительный	серьёзный	критический	катастрофический	бедственный

Необходимо рассчитать показатели $C_{сум}$, $P_{ОИ}$, $P_{АО}$, построить матрицы рисков по безотказности и безопасности для ОИ и сделать выводы по ним.

Методические указания к контрольной работе.

Определение риска по безотказности для ОИ.

Согласно методам теории массового обслуживания, параметр T_1 можно рассматривать как среднее время простоя одного поезда:

$$T_1 = \frac{\bar{x}_1 \cdot (1 - \sigma_1) + \lambda_1 \cdot \bar{x}_1^2 / 2 + \lambda_2 \cdot \bar{x}_2^2 / 2}{(1 - \sigma_1) \cdot (1 - \sigma_2)}, \quad (1)$$

где $\mu_1 = \frac{1}{T_u}$;

$$\sigma_1 = \rho_1 + \rho_2;$$

$$\sigma_2 = \rho_2;$$

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} - \text{удельная нагрузка по использованию элемента ОИ};$$

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} - \text{удельная нагрузка по устранению отказов элемента ОИ};$$

\bar{x}_1 – среднее время пропуска поезда по элементу ОИ, ч;

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum_{j=1}^n x_{1j}}{n};$$

$n = \lambda_1 \cdot T_p$ – количество поездов, пропускаемых по элементу ОИ за

расчётный период T_p ;

\bar{x}_1^2 – второй начальный момент длительности пропуска поездов по элементу ОИ;

$$\bar{x}_1^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{1j} - \bar{x}_1)^2}{n - 1};$$

\bar{x}_2^2 – второй начальный момент длительности устранения отказа элемента ОИ;

$$\overline{x_2^2} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{2j} - \overline{x_2})^2}{m-1};$$

$m = \lambda_2 \cdot T_p$ – количество отказов элемента ОИ за расчётный период T_p .

Среднее число простаивающих поездов определяется как:

$$\overline{N_1} = \lambda_1 \cdot T_1. \quad (2)$$

Окончательно, среднее число ΔN_1 и время дополнительных остановок поездов ΔT_1 , [ч] вследствие отказов элемента ОИ определяются по формулам:

$$\Delta T_1 = T_1(\lambda_2) - T_1(0), \quad \Delta N_1 = \overline{N_1}(\lambda_2) - \overline{N_1}(0), \quad (3)$$

где $N_1(0)$, $T_1(0)$ – средняя длина очереди поездов и число простаивающих поездов при отсутствии отказов элемента ОИ;

$N_1(\lambda_2)$, $T_1(\lambda_2)$ – средняя длина очереди поездов и число простаивающих поездов при наличии отказов элемента ОИ интенсивностью λ_2 .

Суммарный ущерб от отказов ОИ вследствие простоя поездов за расчётный период C_T [тыс. руб.] вычисляют по формуле:

$$C_T = \overline{C_y^{nc}} \cdot \Delta T_1 \cdot n \cdot n_9, \quad (4)$$

где $\overline{C_y^{nc}}$ – средняя стоимость одного часа простоя поезда, тыс. руб.

n_9 – количество элементов ОИ.

Суммарный ущерб от отказов ОИ вследствие дополнительных остановок поездов за расчётный период C_N [тыс. руб.] вычисляют по формуле:

$$C_N = \overline{C_y^{on}} \cdot \Delta N_1 \cdot n \cdot n_9, \quad (5)$$

где $\overline{C_y^{on}}$ – средняя стоимость дополнительной остановки поезда, тыс. руб.

Суммарный ущерб по ОИ составляет:

$$C_{\text{сум}} = C_T + C_N, \quad (6)$$

Значения вероятностей состояний НЗЭО определяется по следующим формулам:

– вероятность использования элемента ОИ:

$$P_1 = \frac{\lambda_1 \cdot \mu_2}{(\lambda_2 + \mu_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)} - \frac{(\mu_2 - \mu_1) \cdot c_2}{(\lambda_1 + \mu_1 - \mu_2)} \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_1) \cdot T_p} - c_0 \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1) \cdot T_p} - c_2 \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_2) \cdot T_p},$$

где $c_2 = -\frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2};$

$$c_0 = 1 - \frac{\mu_2 \cdot (\lambda_2 + \mu_1)}{(\lambda_2 + \mu_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)} + \frac{(\mu_2 - \mu_1) \cdot \lambda_2}{(\lambda_1 + \mu_1 - \mu_2) \cdot (\lambda_2 + \mu_2)};$$

$$t = T_p;$$

– вероятность отказа элемента ОИ:

$$P_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} + c_2 \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_2) \cdot T_p}. \quad (8)$$

Вероятность риска по безотказности для ОИ:

$$P_{\text{ОИ}} = P_1 \cdot P_2. \quad (9)$$

Таким образом, определены показатель для оценки вероятности риска по безотказности для ОИ и показатель, характеризующий последствия риска по безотказности для ОИ. Полученные показатели используются при анализе риска по безотказности для ОИ на различных этапах жизненного цикла с помощью матриц риска. В табл. 9 приведена матрица рисков по безотказности для ОИ. Согласно данной матрице определяется уровень риска для ОИ.

Таблица 9 – Матрица риска по безотказности для ОИ

Вероятность риска	Уровни тяжести последствий (величина ущерба)				
	< 50 тыс. руб.	50 – 200 тыс. руб.	200 – 4000 тыс. руб.	4000 – 20000 тыс. руб.	> 20000 тыс. руб.
$0,9 \leq P_{\text{ОИ}} \leq 1$	Ч1	Ч2	Ч3	Ч4	Ч5
$0,1 \leq P_{\text{ОИ}} < 0,9$	В1	В2	В3	В4	В5
$10^{-3} \leq P_{\text{ОИ}} < 0,1$	С1	С2	С3	С4	С5
$10^{-5} \leq P_{\text{ОИ}} < 10^{-3}$	Р1	Р2	Р3	Р4	Р5
$10^{-7} \leq P_{\text{ОИ}} < 10^{-5}$	К1	К2	К3	К4	К5
$P_{\text{ОИ}} < 10^{-7}$	М1	М2	М3	М4	М5
	незначительный	серьёзный	критический	катастрофический	бедственный

Определение риска по безопасности для ОИ.

Определение риска по безопасности для ОИ основывается на теории случайных импульсных потоков. Интенсивность отказов ОИ, которые могут привести к нарушению безопасности движения поездов, определяется по формуле:

$$\lambda_2^{on} = k \cdot \lambda_2, \quad (10)$$

Средняя длительность активного состояния ОИ:

$$\bar{\tau}_A = T_u, \quad (11)$$

Средняя длительность пассивного состояния ОИ:

$$\bar{\tau}_H = 1/\lambda_1, \quad (12)$$

Средняя длительность соответственно опасного и неопасного состояний ОИ:

$$\bar{\tau}_O = k/\mu_2, \quad (13)$$

$$\bar{\tau}_H = 1/\lambda_2^{on}. \quad (14)$$

Математическое ожидание длительности совпадения активных и опасных состояний ОИ равно:

$$\bar{\tau}_{AO} = \frac{\bar{\tau}_A \cdot \bar{\tau}_O}{\bar{\tau}_A + \bar{\tau}_O}, \quad (15)$$

Среднюю интенсивность перехода ОИ в активное опасное состояние можно определить по формуле:

$$\bar{\mu}_{AO} = \frac{\bar{\tau}_O + \bar{\tau}_A}{(\bar{\tau}_A + \bar{\tau}_H)(\bar{\tau}_O + \bar{\tau}_H)}, \quad (16)$$

Среднюю длительность совокупности следующих состояний ОИ: пассивного опасного, активного неопасного и пассивного неопасного можно определить по формуле:

$$\bar{\tau}_{PH} = \frac{1}{\bar{\mu}_{AO}} - \bar{\tau}_{AO}, \quad (17)$$

При допущении о том, что случайная величина $\tau_{ПН}$ распределена по экспоненциальному закону, параметр закона распределения $\tau_{ПН}$ можно определить как:

$$\lambda_{ПН} = \frac{1}{\bar{\tau}_{ПН}}, \quad (18)$$

За расчётное время T_p вероятность возникновения риска для ОИ по безопасности при движении поездов определяется по формуле:

$$P_{AO} = \frac{\bar{\tau}_A \cdot \bar{\tau}_O}{(\bar{\tau}_A + \bar{\tau}_П)(\bar{\tau}_O + \bar{\tau}_H)} + \left(1 - \frac{\bar{\tau}_A \cdot \bar{\tau}_O}{(\bar{\tau}_A + \bar{\tau}_П)(\bar{\tau}_O + \bar{\tau}_H)} \right) \left(1 - e^{-\lambda_{ПН} \cdot T_p} \right), \quad (19)$$

В табл. 10 приведена матрица рисков по безопасности для ОИ. Согласно данной матрице определяется уровень риска для ОИ.

Таблица 10 – Матрица риска по безопасности для ОИ

Вероятность риска		Уровни тяжести последствий (величина ущерба)					
		незначительный	серьёзный	критический	катастрофический	бедственный	
$0,9 \leq P_{\text{ои}} \leq 1$	Частое	Ч1	Ч2	Ч3	Ч4	Ч5	
$0,1 \leq P_{\text{ои}} < 0,9$	Вероятное	В1	В2	В3	В4	В5	
$10^{-3} \leq P_{\text{ои}} < 0,1$	Случайное	С1	С2	С3	С4	С5	
$10^{-5} \leq P_{\text{ои}} < 10^{-3}$	Редкое	Р1	Р2	Р3	Р4	Р5	
$10^{-7} \leq P_{\text{ои}} < 10^{-5}$	Крайне редкое	К1	К2	К3	К4	К5	
$P_{\text{ои}} < 10^{-7}$	Маловероятное	М1	М2	М3	М4	М5	

Пример расчета.

Исходные данные:

Обозначение показателя	Наименование показателя	Значение показателя
λ_1	интенсивность использования элемента ОИ, 1/ч	4,17
T_u	средняя длительность использования элемента ОИ, ч	0,068
λ_2	интенсивность отказов элемента ОИ, 10^{-5} 1/ч	0,6509
μ_2	интенсивность восстановления элемента ОИ после отказа, 1/ч	1,1
\overline{C}_y^{nc}	средняя стоимость одного часа простоя поезда, тыс. руб.	3,393
\overline{C}_y^{on}	средняя стоимость одной дополнительной остановки поезда, тыс. руб.	0,12746
T_p	расчётный период, ч	26280
n_s	количество элементов ОИ	157
k	коэффициент, учитывающий долю опасных отказов ОИ	0,01
	Уровень тяжести последствий при нарушении безопасности движения поездов	критический

Согласно методам теории массового обслуживания определяется параметр T_1 :

$$\mu_1 = \frac{1}{T_u} = \frac{1}{0,068} = 14,71$$

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} = \frac{4,17}{14,71} = 0,28$$

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} = \frac{0,6509 \cdot 10^{-5}}{1,1} = 0,59 \cdot 10^{-5}$$

$$\sigma_1 = \rho_1 + \rho_2 = 0,28 + 0,59 \cdot 10^{-5} = 0,280006$$

$$\sigma_2 = \rho_2 = 0,59 \cdot 10^{-5}$$

$$\bar{x}_1 = T_u = 0,068$$

$$\bar{x}_1^2 \approx 0$$

$$\bar{x}_2^2 \approx 0$$

$$\begin{aligned} T_1(\lambda_2) &= \frac{\bar{x}_1 \cdot (1 - \sigma_1) + \lambda_1 \cdot \bar{x}_1^2 / 2 + \lambda_2 \cdot \bar{x}_2^2 / 2}{(1 - \sigma_1) \cdot (1 - \sigma_2)} = \\ &= \frac{0,068 \cdot (1 - 0,280006) + 4,17 \cdot 0 / 2 + 0,6509 \cdot 10^{-5} \cdot 0 / 2}{(1 - 0,280006) \cdot (1 - 0,59 \cdot 10^{-5})} = 0,068000401ч \end{aligned}$$

Среднее число простаивающих поездов определяется как:

$$\bar{N}_1(\lambda_2) = \lambda_1 \cdot T_1(\lambda_2) = 4,17 \cdot 0,068000401 = 0,283561673$$

Окончательно, среднее число ΔN_1 и время дополнительных остановок поездов ΔT_1 , [ч] вследствие отказов элемента ОИ определяются по формулам:

$$\begin{aligned} T_1(0) &= \frac{\bar{x}_1 \cdot (1 - \sigma_1) + \lambda_1 \cdot \bar{x}_1^2 / 2 + \lambda_2 \cdot \bar{x}_2^2 / 2}{(1 - \sigma_1) \cdot (1 - \sigma_2)} = \\ &= \frac{0,068 \cdot (1 - 0,28) + 4,17 \cdot 0 / 2 + 0 \cdot 0 / 2}{(1 - 0,28) \cdot (1 - 0)} = 0,068ч \end{aligned}$$

$$\Delta T_1 = T_1(\lambda_2) - T_1(0) = 0,068000401 - 0,068 = 0,000000401ч$$

$$\bar{N}_1(0) = \lambda_1 \cdot T_1(0) = 4,17 \cdot 0,068 = 0,28356$$

$$\Delta N_1 = \bar{N}_1(\lambda_2) - \bar{N}_1(0) = 0,283561673 - 0,28356 = 0,000001673$$

Суммарный ущерб от отказов ОИ вследствие простоя поездов за расчётный период C_T [тыс. руб.] вычисляют по формуле:

$$\begin{aligned} C_T &= \bar{C}_y^{nc} \cdot \Delta T_1 \cdot n \cdot n_s = 3,393 \cdot 0,000000401 \cdot 109588 \cdot 157 = \\ &= 23,40943 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Суммарный ущерб от отказов ОИ вследствие дополнительных остановок поездов за расчётный период C_N [тыс. руб.] вычисляют по формуле:

$$C_N = \overline{C_y^{on}} \cdot \Delta N_1 \cdot n \cdot n_3 = 0,12746 \cdot 0,000001673 \cdot 109588 \cdot 157 = 3,66887 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарный ущерб по ОИ составляет:

$$C_{\text{сум}} = C_T + C_N = 23,40943 + 3,66887 = 27,0783 \text{ тыс.руб.}$$

Значения вероятностей состояний НЗЭО определяется по следующим формулам:

– вероятность использования элемента ОИ:

$$c_2 = -\frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} = -\frac{0,6509 \cdot 10^{-5}}{0,6509 \cdot 10^{-5} + 1,1} = -0,5917 \cdot 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} c_0 &= 1 - \frac{\mu_2 \cdot (\lambda_2 + \mu_1)}{(\lambda_2 + \mu_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)} + \frac{(\mu_2 - \mu_1) \cdot \lambda_2}{(\lambda_1 + \mu_1 - \mu_2) \cdot (\lambda_2 + \mu_2)} = \\ &= 1 - \frac{1,1 \cdot (0,6509 \cdot 10^{-5} + 14,71)}{(0,6509 \cdot 10^{-5} + 1,1) \cdot (4,17 + 0,6509 \cdot 10^{-5} + 14,71)} + \\ &+ \frac{(1,1 - 14,71) \cdot 0,6509 \cdot 10^{-5}}{(4,17 + 14,71 - 1,1) \cdot (0,6509 \cdot 10^{-5} + 1,1)} = \\ &= 1 - 0,779126821 - 0,000004529 = 0,22086865 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{\lambda_1 \cdot \mu_2}{(\lambda_2 + \mu_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)} - \frac{(\mu_2 - \mu_1) \cdot c_2}{(\lambda_1 + \mu_1 - \mu_2)} \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_1) \cdot T_p} - c_0 \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1) \cdot T_p} - c_2 \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_2) \cdot T_p} = \\ &= \frac{4,17 \cdot 1,1}{(0,6509 \cdot 10^{-5} + 1,1) \cdot (4,17 + 0,6509 \cdot 10^{-5} + 14,71)} - \\ &- \frac{(-1,1 + 14,71) \cdot 0,5917 \cdot 10^{-5}}{(4,17 + 14,71 - 1,1)} \cdot e^{-(0,6509 \cdot 10^{-5} + 14,71) \cdot 1095} - \\ &- 0,22086865 \cdot e^{-(4,17 + 0,6509 \cdot 10^{-5} + 14,71) \cdot 1095} + 0,5917 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-(0,6509 \cdot 10^{-5} + 1,1) \cdot 1095} = \\ &= 0,220867261 - 0 - 0 - 0 = 0,220867261 \end{aligned}$$

– вероятность отказа элемента ОИ:

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} + c_2 \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_2) \cdot T_p} = \frac{0,6509 \cdot 10^{-5}}{0,6509 \cdot 10^{-5} + 1,1} - 0,5917 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-(0,6509 \cdot 10^{-5} + 1,1) \cdot 1095} = \\ &= 0,5917 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

Вероятность риска по безотказности для ОИ:

$$P_{OI} = P_1 \cdot P_2 = 0,5917 \cdot 10^{-5} \cdot 0,220867261 = 0,1307 \cdot 10^{-5}$$

Вывод: определены показатель для оценки вероятности риска по безотказности для ОИ $C_{\text{сум}} = 27,0783 \text{ тыс.руб.}$ и показатель, характеризующий последствия риска по безотказности для ОИ $P_{OI} = 0,1307 \cdot 10^{-5}$. Полученные показатели используются при анализе риска по безотказности для ОИ на различных этапах жизненного цикла с помощью матриц риска. В табл. 11 приведена матрица рисков ОИ. Согласно данной матрице уровень риска функционирования ОИ соответствует уровню К1. Вероятность возникновения ситуации приводящей к риску маловероятна, но возможна. Можно предположить, что данная ситуация может возникнуть в исключительном случае. Возможны незначительные потери. Данный риск считается не принимаемым в расчет (приемлем без согласия ОАО «РЖД»).

Таблица 11 – Матрица риска по безотказности для ОИ

Вероятность риска	Уровни тяжести последствий (величина ущерба)					
	< 50 тыс. руб.	50 – 200 тыс. руб.	200 – 4000 тыс. руб.	4000 – 20000 тыс. руб.	> 20000 тыс. руб.	
$0,9 \leq P_{\text{ОИ}} \leq 1$ Частое	Ч1	Ч2	Ч3	Ч4	Ч5	бедственный
$0,1 \leq P_{\text{ОИ}} < 0,9$ Вероятное	В1	В2	В3	В4	В5	
$10^{-3} \leq P_{\text{ОИ}} < 0,1$ Случайное	С1	С2	С3	С4	С5	
$10^{-5} \leq P_{\text{ОИ}} < 10^{-3}$ Редкое	Р1	Р2	Р3	Р4	Р5	
$10^{-7} \leq P_{\text{ОИ}} < 10^{-5}$ Крайне редкое	К1 (ОИ)	К2	К3	К4	К5	
$P_{\text{ОИ}} < 10^{-7}$ Маловероятное	М1	М2	М3	М4	М5	

Определение риска по безопасности для ОИ основывается на теории случайных импульсных потоков. Интенсивность отказов ОИ, которые могут привести к нарушению безопасности движения поездов, определяется по формуле:

$$\lambda_2^{on} = k \cdot \lambda_2 = 0,01 \cdot 0,6509 \cdot 10^{-5} = 0,6509 \cdot 10^{-7} \text{ 1/ч,}$$

Средняя длительность активного состояния ОИ:

$$\bar{\tau}_A = T_u = 0,068 \text{ ч,}$$

Средняя длительность пассивного состояния ОИ:

$$\bar{\tau}_H = 1/\lambda_1 = 1/4,17 = 0,2398 \text{ ч,}$$

Средняя длительность соответственно опасного и неопасного состояний ОИ:

$$\bar{\tau}_O = k/\mu_2 = 0,01/1,1 = 0,009091 \text{ ч,}$$

$$\bar{\tau}_H = 1/\lambda_2^{on} = 1/0,6509 \cdot 10^{-7} = 1,5363 \cdot 10^7 \text{ ч,}$$

Математическое ожидание длительности совпадения активных и опасных состояний ОИ равно:

$$\bar{\tau}_{AO} = \frac{\bar{\tau}_A \cdot \bar{\tau}_O}{\bar{\tau}_A + \bar{\tau}_O} = \frac{0,068 \cdot 0,009091}{0,068 + 0,009091} = 0,00802,$$

Среднюю интенсивность перехода ОИ в активное опасное состояние можно определить по формуле:

$$\bar{\mu}_{AO} = \frac{\bar{\tau}_O + \bar{\tau}_A}{(\bar{\tau}_A + \bar{\tau}_H)(\bar{\tau}_O + \bar{\tau}_H)} = \frac{0,009091 + 0,068}{(0,068 + 0,2398)(0,009091 + 1,5363 \cdot 10^7)} = 1,6302681 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч,}$$

Среднюю длительность совокупности следующих состояний ОИ: пассивного опасного, активного неопасного и пассивного неопасного можно определить по формуле:

$$\bar{\tau}_{PH} = \frac{1}{\bar{\mu}_{AO}} - \bar{\tau}_{AO} = \frac{1}{1,6302681 \cdot 10^{-8}} - 0,00802 = 6,13396 \cdot 10^7 \text{ ч,}$$

При допущении о том, что случайная величина $\tau_{\text{ПН}}$ распределена по экспоненциальному закону, параметр закона распределения $\tau_{\text{ПН}}$ можно определить как:

$$\lambda_{\text{ПН}} = \frac{1}{\bar{\tau}_{\text{ПН}}} = \frac{1}{6,13396 \cdot 10^7} = 1,6302682 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч,}$$

За расчётное время T_p вероятность возникновения риска для ОИ по безопасности при движении поездов определяется по формуле:

$$P_{AO} = \frac{\bar{\tau}_A \cdot \bar{\tau}_O}{(\bar{\tau}_A + \bar{\tau}_\Pi)(\bar{\tau}_O + \bar{\tau}_H)} + \left(1 - \frac{\bar{\tau}_A \cdot \bar{\tau}_O}{(\bar{\tau}_A + \bar{\tau}_\Pi)(\bar{\tau}_O + \bar{\tau}_H)} \right) \left(1 - e^{-\lambda_{\text{ПН}} \cdot T_p} \right) =$$

$$= \frac{0,068 \cdot 0,009091}{(0,068 + 0,2398)(0,009091 + 1,5363 \cdot 10^7)} + \left(1 - \frac{0,068 \cdot 0,009091}{(0,068 + 0,2398)(0,009091 + 1,5363 \cdot 10^7)} \right) \times$$

$$\times \left(1 - e^{-1,6302682 \cdot 10^{-8} \cdot 26280} \right) = 4,28 \cdot 10^{-4}$$

В табл. 12 приведена матрица рисков по безопасности для ОИ. Согласно данной матрице уровень риска для ОИ соответствует Р3.

Таблица 12 – Матрица риска по безопасности для ОИ

Вероятность риска		Уровни тяжести последствий (величина ущерба)					
		незначительный	серьёзный	критический	катастрофический	бедственный	
$0,9 \leq P_{\text{ои}} \leq 1$	Частое	Ч1	Ч2	Ч3	Ч4	Ч5	
$0,1 \leq P_{\text{ои}} < 0,9$	Вероятное	В1	В2	В3	В4	В5	
$10^{-3} \leq P_{\text{ои}} < 0,1$	Случайное	С1	С2	С3	С4	С5	
$10^{-5} \leq P_{\text{ои}} < 10^{-3}$	Редкое	Р1	Р2	Р3 (ОИ)	Р4	Р5	
$10^{-7} \leq P_{\text{ои}} < 10^{-5}$	Крайне редкое	К1	К2	К3	К4	К5	
$P_{\text{ои}} < 10^{-7}$	Маловероятное	М1	М2	М3	М4	М5	