

Методические указания  
«УПРАВЛЕНИЕ НАДЁЖНОСТЬЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ  
АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИЙ ALARP И УРРАН»

## НОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

## Общие сведения о концепции УРРАН

Цель внедрения методологии УРРАН – целесообразное распределение ограниченных ресурсов компании для **обеспечения необходимых уровней надежности и безопасности перевозочного процесса** с учетом экономических рисков, связанных с ними.

Таким образом, первичными являются показатели качества перевозочного процесса, а состояние технических средств с позиции надежности подразумевает поддерживать ровно таким, насколько это необходимо для обеспечения заданных показателей качества перевозок.

Отдельный отказ технических средств – **событие случайное**. Его влияние на процесс перевозок сложным образом зависит не только от комплексных характеристик готовности технических средств, но и от характеристик процесса перевозок.

Сбои в процессе движения поездов из-за отказов должны описываться с позиции рисков, так как их описание должно включать в себя **вероятность возникновения** сбоя – задержки поездов, так и величину последствий – **поездо-часы задержки**.

Между показателями надежности и безопасности конкретных технических средств и показателями качества процесса перевозок должен предусматриваться «прозрачный переход». Аналогичный переход должен позволять оценивать эксплуатационную деятельность компании и ее хозяйств

# Перечень основных показателей надежности

## Показатели функциональной надежности (внешние показатели)

(используются для описания влияния надежности технических средств на перевозочный процесс и передаются для анализа иным структурным подразделениям)

## Показатели структурной надежности (внутренние показатели)

(используются для определения состояния и качества обслуживания систем ЖАТ внутри структурных подразделений хозяйства А и Т)

Интенсивность отказов системы ЖАТ 1-й и 2-й категории

$$\lambda_{12}$$

(показатель безотказности, характеризующий то, как часто происходят отказы в системе ЖАТ)

Поездо-часы потерь за отчетный интервал времени из-за отказов системы ЖАТ

$$T_3$$

(показатель качества перевозочного процесса на участке ж.д.)

Коэффициент готовности системы ЖАТ по отказам 1 и 2 категории

$$K_{z12}$$

(показатель готовности системы ЖАТ)

Интенсивность инцидентов системы ЖАТ

$$\lambda$$

(показатель безотказности, характеризующий то, как часто происходят инциденты в системе ЖАТ)

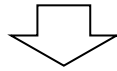
Среднее время до восстановления системы ЖАТ

$$T_v$$

(показатель безотказности, характеризующий длительность восстановления работоспособного состояния системы ЖАТ персоналом)

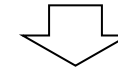
Показатели надёжности вычисляются и приводятся для каждой отдельной системы железнодорожной автоматики и телемеханики на конкретной станции или перегоне

## Классификация значений показателей надежности



### Допустимые

Определяются целесообразным уровнем издержек на процесс перевозок. Впервые определяются на этапе научно-исследовательских работ, а затем корректируются на протяжении всего жизненного цикла системы. На основе допустимых значений показателей надежности формируется критерий качества функционирования или эксплуатации системы ЖАТ



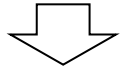
### Фактические

Определяются **на этапе эксплуатации** путем статистической обработки данных об отказах и восстановлении реально существующей системы ЖАТ. Характеризуют фактический уровень надежности системы ЖАТ в различные моменты времени в эксплуатационном периоде жизненного цикла.

Персонал в течение эксплуатационного периода жизненного цикла должен периодически вычислять **фактические** значения показателей надежности и сравнивать их с **допустимыми**. Таким образом подразумевается выполнять оценку технического состояния систем ЖАТ в процессе эксплуатации.

# Специфика расчета фактических значений показателей надёжности

Источники статистических данных для оценки фактических показателей надёжности – информационные системы железнодорожного транспорта



## Показатели функц. надёжности

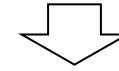
**Основное требование:** максимальная «прозрачность расчетов» на основе зафиксированных в информационных системах данных

**Фактическое значение коэффициента готовности по отказам 1 и 2 категории** определяется на основе данных обо всех видах отказов (кроме внешних), категорий 1, 2.

**Фактическое значение поездо-часов потерь** определяется по данным об отказах категорий 1 и 2 (вызвавших задержку в движении поездов) и связанных с ними поездо-часах потерь.

Вид отказа может учитываться в последующем **при факторном анализе**.

**Фактический уровень рисков** определяется данными об отказах категорий 1, 2, 3, предотказных состояниях, отступлениях от норм содержания и зарегистрированных поездо-часах задержки



## Показатели структ. надёжности

**Основное требование:** максимальная объективность расчетов на основе зафиксированных в информационных системах данных

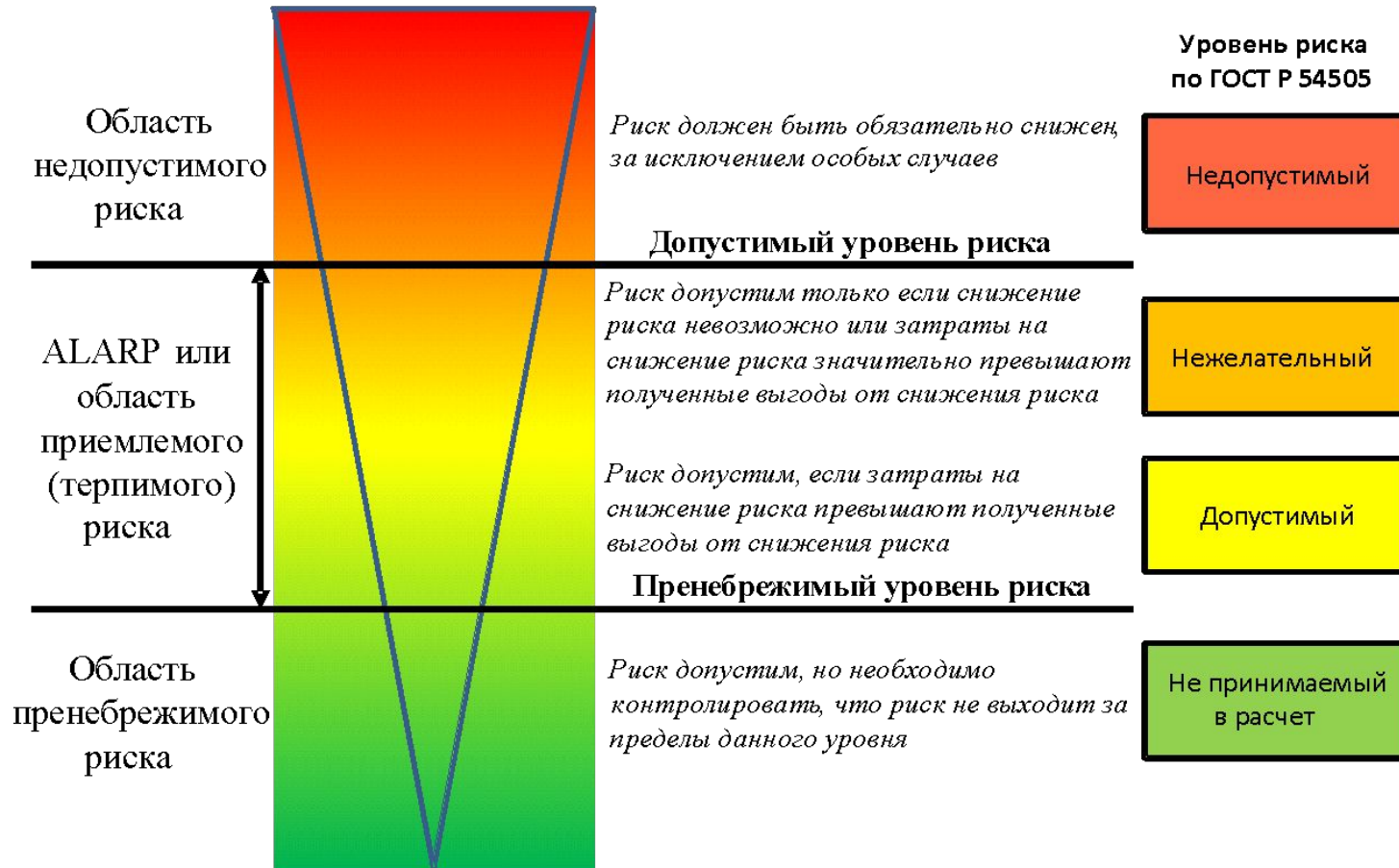
**Фактическое значение среднего времени до восстановления** системы ЖАТ определяется на основе данных о времени устранения отказов всех категорий (1, 2, 3), без учета времени устранения предотказных состояний и отступления от норм содержания.

**Фактическое значение интенсивности инцидентов** системы ЖАТ определяется на основе данных об отказах всех видов категорий 1, 2 и 3. Данные об отказах дополняют данными о зарегистрированных **значимых** предотказных состояниях и отступлениях от норм содержания (прореженные данные). Значимость определяется с помощью утвержденных Классификаторов.

Вид отказа, предотказного состояния или отступления от норм содержания учитывается **при факторном анализе**.

# Модель ALARP

Суть модели: «Риск настолько низкий, насколько это практически возможно»



**Любое мероприятие или комплекс мероприятий может приводить самое лучшее только к снижению уровня риска, но полностью его исключить невозможно**

Снижать риск ниже определенного уровня нецелесообразно, так как все меньшему темпу его снижения будут соответствовать нелинейно возрастающие затраты.

**ALARP – это область целесообразного (терпимого) риска**

## Матрица рисков – развитие модели ALARP

Вероятность ущерба	Последствия в виде поездо-часов потерь			
	Незначительный	Значительный	Существенный	Критический
Частое	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый
Вероятное	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный	Недопустимый
Случайное	Допустимый	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый
Редкое	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный
Крайне редкое	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Допустимый	Нежелательный
Маловероятное	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный

**В матрице рисков имеется качественное описание уровня результирующего риска, а также его составляющих: последствий в виде поездо-часов потерь и вероятности ущерба. Это позволяет проводить как общий анализ риска, так и выявлять влияние его составляющих**

# Принцип нормирования поездо-часов потерь

Нормы поездо-часов потерь должны характеризовать технически достижимый уровень качества процесса перевозок  
Уровень качества перевозок должен быть экономически целесообразным

## Последовательность нормирования внешних показателей надежности

Допустимое значение поездо-часов потерь



Допустимое значение интенсивности отказов 1 и 2 категории



Допустимое значение Кг по отказам 1 и 2 категории

## Исходные данные

Отчеты КАСАНТ о суммарных зарегистрированных поездо-часах потерь для различных систем ЖАТ, функционирующих в пределах различных железнодорожных линий за период наблюдения (3 календарных года)

## Группировка исходных данных

Поездо-часы потерь при прочих равных условиях в существенной мере зависят от класса и специализации железнодорожной линии, поэтому для железнодорожной линии каждого класса и специализации нормы должны отличаться. Для получения допустимого значения поездо-часов задержки на железнодорожной линии каждого класса и специализации отбирают и группируют данные о фактических поездо-часах задержки, связанных с системами ЖАТ, находящимися на линии такого класса и специализации на разных участках железных дорог

**Классы и специализации железнодорожных линий с различными нормами поездо-часов потерь с группировкой**

1(В,  
С)

1(П)

1(О)

1(Г,Т,  
М)

2(В,  
С)

2(П)

2(О)

2(Г,Т,  
М)

3

4

5

**Для всех систем ЖАТ в пределах железнодорожной линии одного класса и специализации норма поездо-часов потерь будет одинаковой**



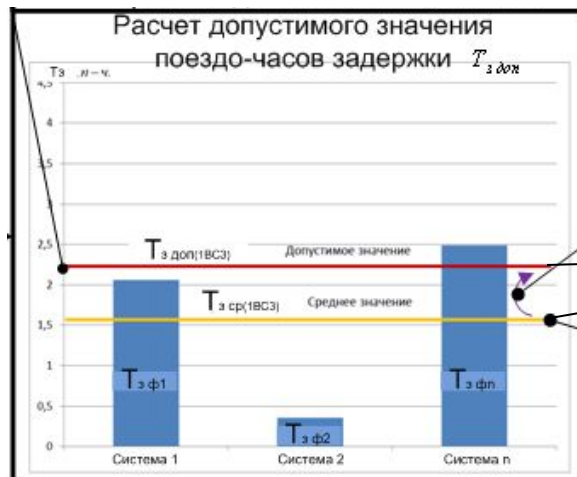
# Принцип нормирования поездо-часов потерь

## Результат группировки исходных данных

Исходные данные для вычисления норм показателей надежности систем ЖАТ при регламентном времени восстановления менее 1 часа в пределах железнодорожных линий класса 1 специализаций В, С

№ д/п $j$	Наименование станции (переезда)	Общее количество отказов $N_j$	Из них количество отказов, повлекших задержку движения поездов $N_{zj}$	Суммарное время устранения отказов $T_{з сумм j}$	Количество предотказных состояний $N_{1j}^*$	Количество зарегистрированных отклонений от норм содержания $N_{2j}^*$	Суммарные поездо-часы задержки из-за отказов $T_{zj}$
а	б	в	г	д	е	ж	и

## Расчет допустимого значения поездо-часов потерь



Поправка на статистические отклонения

Средний уровень показателя

1. Расчет среднего уровня показателя для железнодорожной линии определенных класса и специализации:

$$T_{з ср} = \frac{\sum_{j=1}^v T_{з j}}{v \cdot r}$$

2. Расчет среднего квадратического отклонения:

$$\sigma_{Tз} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^v \left( \frac{T_{з j}}{r} - T_{з ср} \right)^2}{v - 1}}$$

3. Расчет допустимого значения поездо-часов потерь:

$$T_{з доп} = T_{з ср} + \frac{\sigma_{Tз}}{4}$$

# Принцип нормирования интенсивности отказов системы ЖАТ 1 и 2 категории

Уровень безотказности должен поддерживаться ровно таким, чтобы обеспечить заданные показатели качества перевозочного процесса (допустимый уровень поездо-часов потерь)

Расчет допустимого значения интенсивности отказов должен увязывать между собой показатели безотказности, ремонтпригодности, и процесс движения поездов с использованием системы ЖАТ

Расчет не должен осуществляться на основе статистических данных, так как:

- В явном виде не получится показать количественную взаимосвязь между показателями качества перевозок и уровнем надежности технических средств ЖАТ
- Статистические данные об отказах, используемые для расчета фактических значений показателей

в существенной мере субъективны

Возможные методы нахождения взаимосвязи:

**Имитационное моделирование**

**Аналитическое моделирование**

**Применение принципа аналогии:**

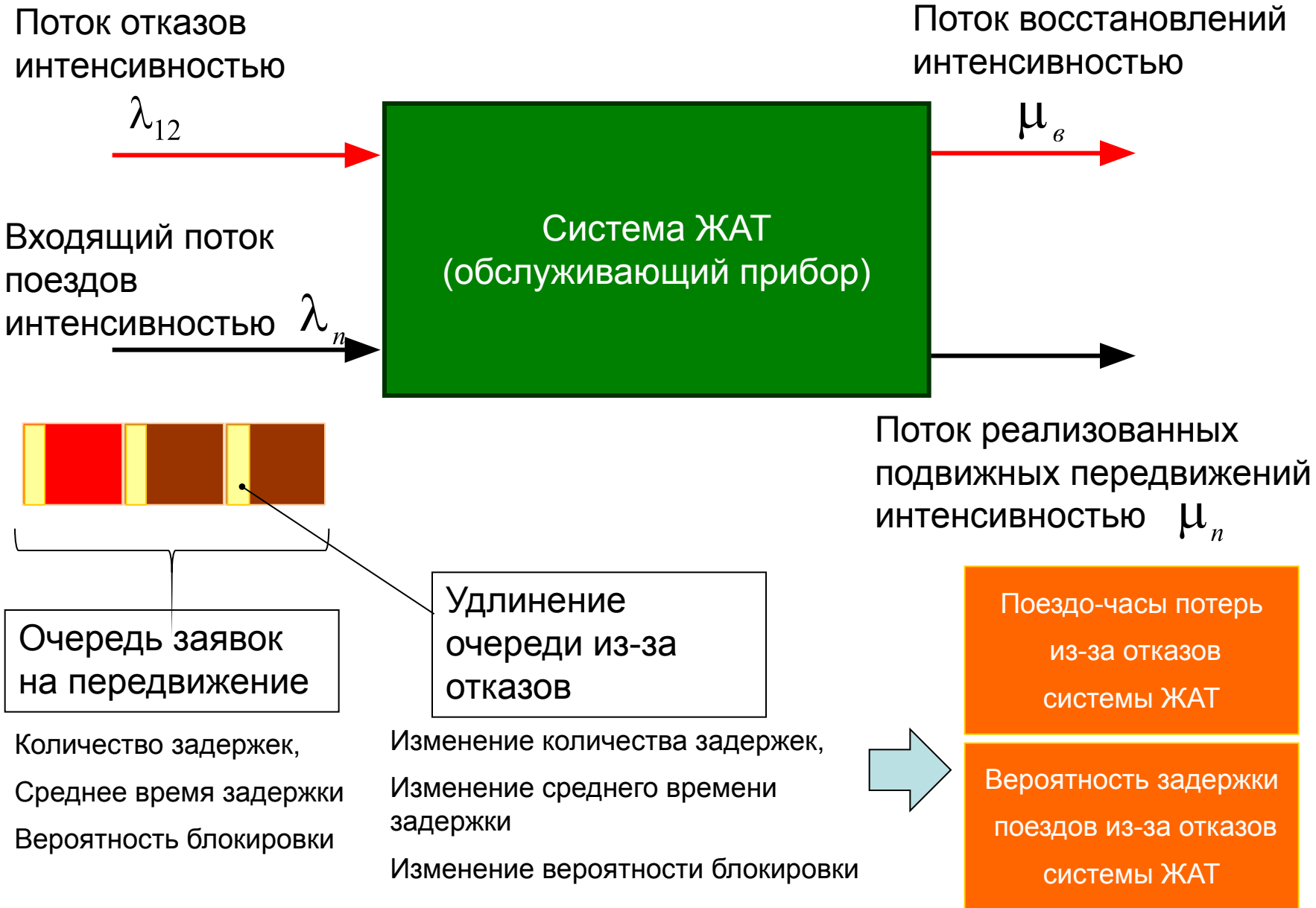
Область, где решаются сходные задачи: системы массового обслуживания, предназначенные для переработки потоков заявок различного характера

**Математическая модель «Обслуживающий прибор (сервер)»**

**Где изложены основные положения методики расчета?**

«Методика оценки рисков, связанных с функционированием систем железнодорожной автоматики и телемеханики ОАО «РЖД»

# Модель оценки рисков поездо-часов потерь



# Процедура оценки допустимого значения интенсивности отказов 1 и 2 категории

## Исходные данные:

Исходные данные о процессе движения поездов в системе ЖАТ

Регламентное время  
восстановления

Допустимое значение  
поездо-часов потерь

## Модель:

Поток отказов  
интенсивностью

$\lambda_{12}$

?

Поток восстановлений  
интенсивностью

$\mu_e$

Входящий поток  
поездов  
интенсивностью

$\lambda_n$

Система ЖАТ  
(обслуживающий прибор)

$\mu_n$

Поток реализованных подвижных  
передвижений интенсивностью



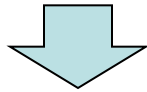
## Результат:

Допустимое значение интенсивности отказов  
системы ЖАТ 1 и 2 категории

# Процедура оценки допустимого значения коэффициента готовности по отказам 1 и 2 категории

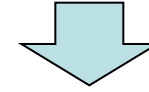
Допустимое значение интенсивности отказов системы ЖАТ 1 и 2 категории

$\lambda_{12\text{дон}}$



Регламентное время  
Устранения отказов

$T_{\text{рег}}$



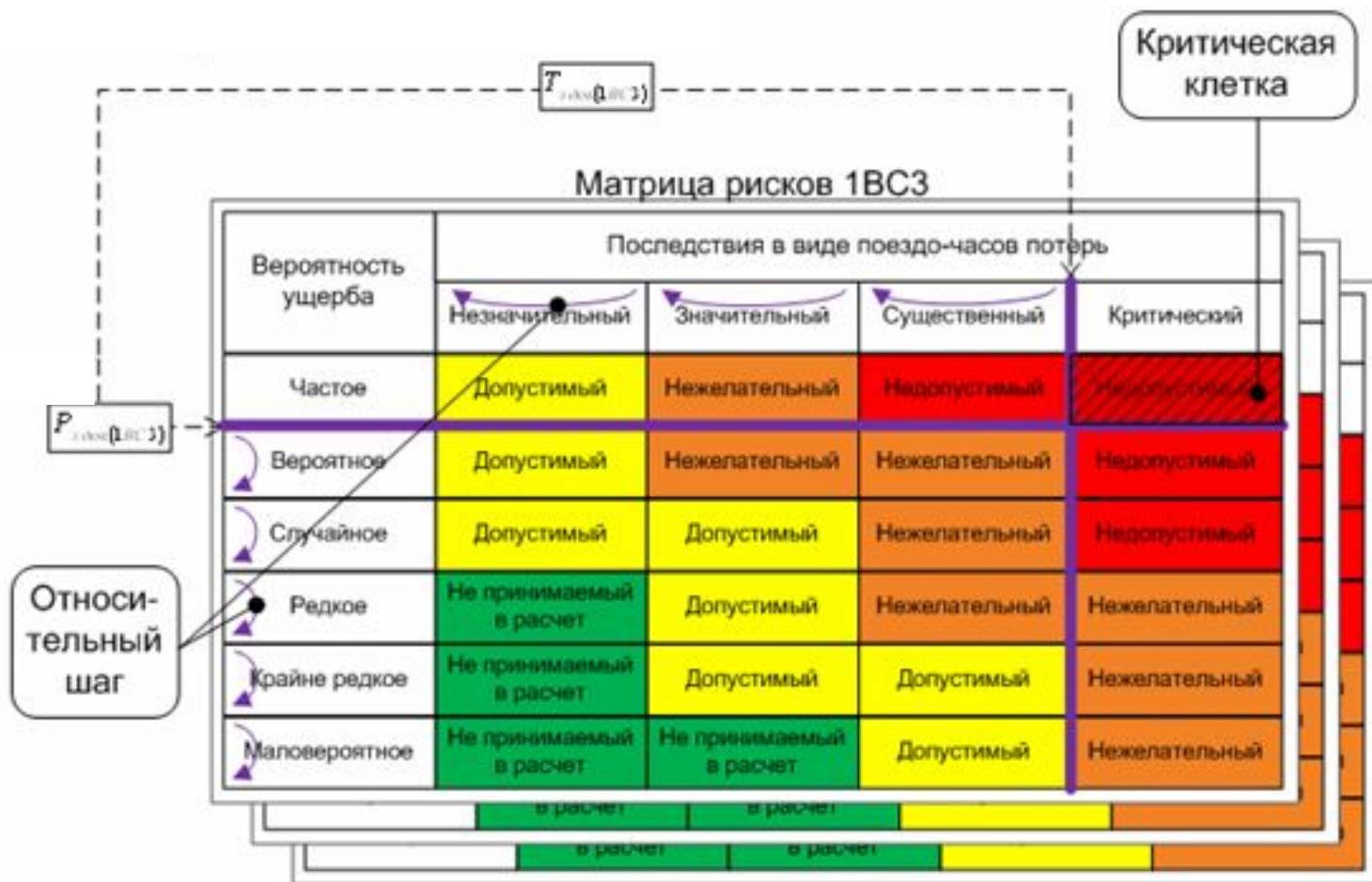
Формула расчета допустимого значения коэффициента готовности по отказам 1 и 2 категории:

$$K_{12\text{г дон}} = \frac{1}{1 + T_{\text{рег}} \cdot \lambda_{12\text{дон}}}$$

Допустимое значение поездо-часов потерь едино для всех систем ЖАТ в пределах железнодорожных линий одного класса и специализации

Допустимое значение интенсивности отказов первой и второй категории и коэффициента готовности в общем случае индивидуальны для каждой системы ЖАТ в силу различий во времени устранения отказов и характеристик процесса движения поездов

# Синтез матрицы рисков



Так как нормы поездо-часов потерь и допустимого значения вероятности задержки поездов различны для железнодорожных линий разных классов и специализаций, то формируется совокупность матриц

## Построенная матрица рисков, связанных с надежностью функционирования системы ЖАТ

Уровни частоты (вероятность ущерба)			Уровни последствий возникновения отказов системы ЖАТ (поездо-часы потеря)			
			$T_3 < \frac{T_{3 доп}}{K^2}$	$\frac{T_{3 доп}}{K^2} \leq T_3 < \frac{T_{3 доп}}{K}$	$\frac{T_{3 доп}}{K} \leq T_3 < T_{3 доп}$	$T_{3 доп} \leq T_3$
			незначительный	значительный	существенный	критический
			1	2	3	4
$P_3 \leq P_3$	Частое	Ч	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый
$\frac{P_3 доп}{K} \leq P_3 < P_3 доп$	Вероятное	В	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный	Недопустимый
$\frac{P_3 доп}{K^2} \leq P_3 < \frac{P_3 доп}{K}$	Случайное	С	Допустимый	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый
$\frac{P_3 доп}{K^3} \leq P_3 < \frac{P_3 доп}{K^2}$	Редкое	Р	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный
$\frac{P_3 доп}{K^4} \leq P_3 < \frac{P_3 доп}{K^3}$	Крайне редкое	К	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Допустимый	Нежелательный
$P_3 < \frac{P_3 доп}{K^4}$	Маловероятное	М	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет		

Формирование интегральных показателей готовности  
инфраструктуры ЖАТ в границах производственной  
деятельности подразделения



## Общие сведения

Интегральные показатели носят обобщающий характер

Расчет интегральных показателей реализуется единообразно для структурных подразделений различных уровней (ШЧ, дорога, хозяйство в целом).

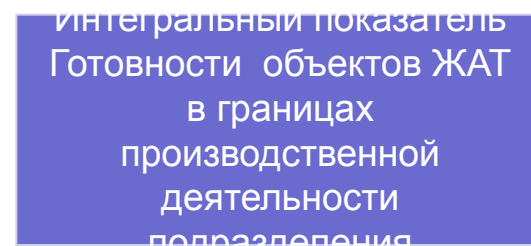
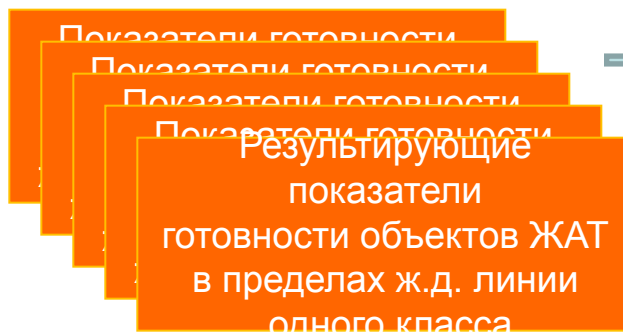
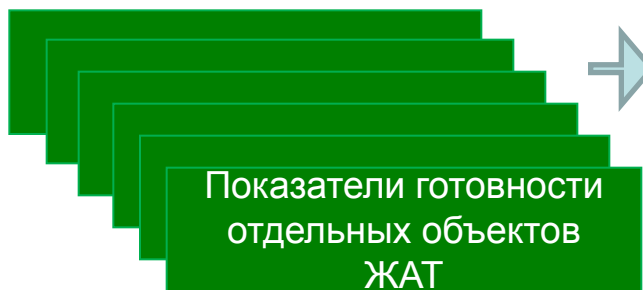
Различие в расчете интегральных показателей для подразделений на различных уровнях иерархии в структуре РЖД заключается в совокупности объектов ЖАТ, которая определяется границами их производственной деятельности

## Общая последовательность расчета

Объекты ЖАТ

Однородные участки

Разнородные участки



Частные показатели

Однородные показатели

Взвешенный показатель

## Подходы к расчету



### Способ 1

Интегральный показатель готовности, приведенный на инфраструктуру ЖАТ в пределах усредненной ж.д. линии (на совокупность объектов ЖАТ)



### Способ 2

Интегральный показатель готовности, приведенный на один усредненный объект ЖАТ

#### Достоинство:

-Показатель помимо готовности характеризует размеры участка

#### Недостатки:

-Показатель нельзя сравнивать с аналогичным по другому участку, в силу различий в количестве объектов ЖАТ у них (требуется использовать характеристику «запас по надежности»)

-Интегральный показатель имеет невысокие значения порядка 0,87, так как описывает состояние большого количества объектов ЖАТ

#### Достоинство:

-Показатель непосредственно позволяет сравнивать состояние готовности объектов ЖАТ на различных участках

-Интегральный показатель, поскольку приведен на один объект ЖАТ, имеет высокие значения, сравнимые с аналогичными показателями отдельных объектов ЖАТ

#### Недостатки:

-Показатель не отражает размеры участка

# Подходы к расчету

## Способ 1

Объекты ЖАТ

Показатели готовности  
отдельных объектов  
ЖАТ

Показатели готовности  
отдельных объектов  
ЖАТ

Показатели готовности  
отдельных объектов  
ЖАТ



Участки ж.д. линий

Результатирующие показатели  
готовности участка ж.д.  
линии  
определенного класса,  
как конкретной совокупности  
объектов ЖАТ

Результатирующие показатели  
готовности участка ж.д.  
линии  
определенного класса,  
как конкретной совокупности  
объектов ЖАТ

Совокупность участков ж.д. линий



Интегральный показатель  
готовности **усредненного участка ж.д. линий**  
в границах производственной деятельности  
структурного подразделения

# Подходы к расчету

## Способ 2

Объекты ЖАТ

Показатели готовности  
отдельных объектов  
ЖАТ

Показатели готовности  
отдельных объектов  
ЖАТ

Показатели готовности  
отдельных объектов  
ЖАТ



Объект ЖАТ на участке ж.д. линии

Результирующие показатели  
готовности **объекта ЖАТ**  
на участке ж.д. линии  
определенного класса

Результирующие показатели  
готовности **объекта ЖАТ**  
на участке ж.д. линии  
определенного класса

Объект ЖАТ в границах производственной деятельности



Интегральный показатель  
готовности усредненного **объекта ЖАТ**  
в границах производственной деятельности  
структурного подразделения

## Специфика интегрального показателя готовности

**Интегральный показатель используется для обобщения в виде одного числа результирующих показателей, относящихся к разнородным участкам ж.д. линий.**

**Интегральный показатель готовности является средневзвешенным по классам железнодорожных линий в границах производственной деятельности структурного подразделения. По сути он представляет собой среднюю величину, имеющую смещение в направлении показателей железнодорожных линий высоких классов (для учета значимости классов).**

**Вес результирующих показателей, описывающих разные классы линий, линейно убывает с ростом номера класса железнодорожной линии. При равенстве весов классов линий интегральный показатель становится средним без смещения.**

**В общих чертах схема расчета фактических и допустимых значений интегрального показателя готовности одинакова, что необходимо для обеспечения сопоставимости результатов между собой.**