

На правах рукописи



**СИСИНА ОЛЬГА АНДРЕЕВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕАГИРОВАНИЯ  
ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ НЕШТАТНЫХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ  
СИТУАЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «РЖД»)**

05.02.22 – Организация производства (транспорт, технические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ УрГУПС)

**Научный руководитель** – доктор технических наук, доцент  
Сирина Нина Фридриховна

**Официальные оппоненты:**

Гуда Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Ахтямов Расул Гумерович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

**Ведущая организация:** Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»

Защита состоится «25» декабря 2020 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 218.013.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, зал диссертационного совета, ауд. Б2-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте УрГУПС по адресу: <http://www.usurt.ru>

Автореферат разослан «24» ноября 2020 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета Д 218.013.02.

Тел./факс: +7 (343) 221-24-44. E-mail: NSirina@usurt.ru.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор технических наук



Н.Ф. Сирина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Надежность перевозочного процесса и гарантированная безопасность, соответствующая международным нормам, является одной из главных целей, реализуемых ОАО «РЖД». Достижение поставленной цели основано на необходимости решения задачи минимизации последствий транспортных происшествий, обеспечения сохранности жизни и здоровья людей, грузов, подвижного состава, объектов инфраструктуры.

Стоимость материальных потерь, ущерб здоровью и жизни человека увеличиваются с ростом времени реагирования на происшествие.

Процесс реагирования на железной дороге включает основные временные этапы: определение причины и места происшествия; передача сведений до всех ответственных и привлекаемых к ликвидации должностных лиц и структурных подразделений железной дороги, экстренных служб реагирования территориального образования, в границах которого случилось происшествие (ЭОСТО), иных структурных единиц единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС); сборы, прибытие, ликвидация, ликвидация последствий.

Согласно документам развития сферы безопасности перевозочного процесса ОАО «РЖД» минимизировать последствия предлагается за счет создания систем контроля состояния и управления объектов инфраструктуры, развития автоматизированных систем принятия решения, систем мониторинга и обработки данных по случаям возникновения нештатных и чрезвычайных ситуаций (НиЧС), создания единой интегрированной системы управления, уменьшения влияния человеческого фактора.

Для сокращения времени определения неисправностей в пути следования и местоположения предлагается разрабатывать и внедрять в эксплуатацию средства контроля неисправности, создавать интеллектуальные поезда со средствами бортового и спутникового контроля. Для сокращения времени ликвидации – прорабатывать вопросы прибытия служб на место происшествия, актуализировать технологические карты проведения аварийно-спасательных работ, оснащать функциональной аварийно-спасательной техникой.

В документах, планирующих развитие сферы безопасности перевозочного процесса ОАО «РЖД», не ставится задача организации процесса реагирования структурных подразделений ОАО «РЖД» при возникновении нештатных и чрезвычайных ситуаций (НиЧС), в промежутке времени от момента возникновения таких ситуаций до момента начала непосредственных работ по их ликвидации и ликвидации последствий, связанных с ними, с целью минимизации транспортных происшествий. Следовательно, данный вопрос требует дальнейшего исследования с учетом изменений и дополнений нормативно-распорядительных документов в системе реагирования ОАО «РЖД», являющегося подсистемой РСЧС.

**Степень разработанности темы.** Вопросы обеспечения безопасности и ликвидации чрезвычайных ситуаций на транспорте рассмотрены в трудах

ученых: В. А. Акимова, В. П. Ананьева, В. А. Владимирова, Ю. Л. Воробьева, С. А. Качанова, А. Н. Цурикова, М. И. Фалеева. Теоретические вопросы и практические подходы к решению проблем обеспечения надежности и безопасности функционирования железнодорожного транспорта и разработки автоматизированных информационных систем управления и связи на транспорте рассмотрены в трудах ученых: А. А. Абрамова, М. А. Бутакова, А. Н. Гуды, В. В. Доенина, А. М. Замышляева, В. Н. Иванченко, К. Б. Кузнецова, В. М. Лисенкова, А. М. Лисютина, Е. Н. Розенберга, И. Н. Розенберга, В. В. Сапожникова, Вл. В. Сапожникова, Н. Ф. Сириной, М. А. Шевандина, И. Б. Шубинского.

**Целью диссертационного исследования** является повышение эффективности организации процесса реагирования структурных подразделений ОАО «РЖД» при возникновении нештатных и чрезвычайных ситуаций, влияющих на перевозочный процесс железнодорожного транспорта.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие **научные задачи**:

1. Выполнить структурированный анализ с консолидацией сведений нормативно-правовых и нормативно-распорядительных документов, процесса реагирования подразделений ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС во время организации перевозочного процесса, взаимодействия подразделений с иными подсистемами РСЧС на уровнях реагирования в границах железной дороги – филиала ОАО «РЖД» (на примере Свердловской железной дороги).

2. Разработать алгоритм процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» в случае возникновения НиЧС при организации перевозочного процесса.

3. Разработать имитационную модель процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС. Провести оценку результатов имитационного моделирования.

4. Разработать методику и программный продукт, реализующие реагирование структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» с целью минимизации последствий возможных транспортных происшествий.

5. Оценить варианты расчетов на основании разработанной модели реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

**Объектом исследования** является процесс реагирования структурных подразделений ОАО «РЖД» на нештатные и чрезвычайные ситуации при их возникновении.

**Предметом исследования** является организация процесса реагирования структурных подразделений ОАО «РЖД» на нештатные и чрезвычайные ситуации, влияющие на перевозочный процесс железнодорожного транспорта, с момента возникновения таких чрезвычайных ситуаций до момента начала непосредственных работ по их ликвидации и ликвидации последствий, связанных с ними.

**Научная новизна** полученных результатов проведенного исследования заключается в следующем:

1. Предложен совершенствованный структурированный процесс реагирования подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» в случае возникновения НиЧС при организации перевозочного процесса, их взаимодействия с экстренными оперативными службами территориального образования, иными подсистемами единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на уровнях реагирования в границах железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

2. Разработан алгоритм процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» в случае возникновения НиЧС при организации перевозок. Закреплены математические правила, описывающие представленную модель.

3. Разработана имитационная модель процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении различных по масштабам НиЧС. Определены временные параметры доведения информации в процессе реагирования с учетом иерархии взаимодействующих должностных лиц и структур железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

4. Разработаны методика организации процесса реагирования с применением информационных карт и программное решение, реализующее информационные карты в имитационной модели процесса реагирования структурных подразделений ОАО «РЖД» на возникшую во время перевозочного процесса ситуацию нештатного и чрезвычайного характера.

5. Выполнены численные эксперименты на модели процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость исследования заключается в разработке имитационной модели процесса реагирования структурных подразделений предприятий при возникновении НиЧС.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в разработке методики организации устойчивого процесса реагирования структурных подразделений ОАО «РЖД» с применением информационных карт, обеспечивающих ускорение реагирования за счет уменьшения временных задержек доведения информации о произошедших НиЧС и уменьшения влияния человеческого фактора.

Результаты проведенного теоретического и практического исследования реализованы в программном продукте «Модель процесса информационного обмена на железной дороге при возникновении ситуаций чрезвычайного характера (АСИО)».

**Методология и методы исследования.** В основу методологии исследования положены натурное наблюдение за процессом, научные методы сбора и обработки статистических данных, теории вероятностного,

статистического анализа, массового обслуживания, имитационного моделирования.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Совершенствованный структурированный процесс реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» в случае возникновения НиЧС при организации перевозочного процесса, их взаимодействия с экстренными оперативными службами территориального образования, иными подсистемами РСЧС на уровнях реагирования в границах железной дороги – филиала ОАО «РЖД» (на примере Свердловской железной дороги).

2. Алгоритм процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС.

3. Имитационная модель процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС. Результаты оценки временных параметров процесса реагирования с учетом предложенной иерархии звеньев.

4. Методика и программный продукт, реализующие в процессе реагирования доведение информации о возникшей НиЧС и ее характеристиках с применением информационных карт по информационно-вычислительным сетям связи ОАО «РЖД».

5. Результаты численных экспериментов процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» в случае возникновения НиЧС.

**Степень достоверности результатов** проведенных исследований подтверждена аргументированным применением в моделировании гипотез и допущений, апробацией разработанных моделей в границах Свердловской железной дороги, докладами на конференциях, публикациями работ в научных изданиях транспортного профиля.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационного исследования докладывались: на XIV Международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2019 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Транспорт Урала – 2019» (Екатеринбург, 2019 г.); Научно-практической конференции «Молодежь. Наука. Инновации в области обеспечения безопасности» (Санкт-Петербург, 2020 г.).

**Публикации.** Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в четырех печатных работах; при этом три печатные работы опубликованы в изданиях, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени».

**Структура диссертации.** Структура диссертационного исследования представлена введением, четырьмя главами, заключением, списком сокращений и условных обозначений, списком литературы, содержащим 74 наименования,

тремя приложениями. Основная часть исследования изложена на 154 машинописных страницах, включая 51 рисунок и 2 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** содержит обоснование актуальности темы, степень разработанности темы, цель и задачи, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, методологию и методы исследования, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробацию результатов.

**В первой главе** консолидированы сведения нормативно-правовых и нормативно-распорядительных документов процесса реагирования подразделений ОАО «РЖД» в случае возникновения НиЧС при организации перевозочного процесса, их взаимодействия с экстренными оперативными службами территориального образования, иными подсистемами единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на уровнях реагирования в границах железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

Выполнен структурированный анализ процесса реагирования подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении ситуаций нештатного и чрезвычайного характера, произошедших во время перевозочного процесса.

Процесс реагирования подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» на возникшую НиЧС при функционировании в РСЧС представлен в виде структурной схемы на рисунке 1.

Установлено, что основные функции по передаче оперативных данных о сложившейся НиЧС на взаимосвязанные структурные подразделения, должностным лицам, дежурно-диспетчерским службам экстренных оперативных служб территориального образования, другим территориальным подсистемам РСЧС и иным организациям, привлекаемым к ликвидации, возлагаются на диспетчеров службы движения, в границах управления которых произошла НиЧС. Порядок передачи информации определяется регламентами взаимодействия.

Основным средством связи согласно утвержденным нормативно-распорядительным документам ОАО «РЖД» является телефонная связь, не допускается применение средств связи, не предусмотренных инструкциями. В случае пожара допускается применение любых доступных средств связи для доведения информации в экстренные оперативные службы территориального образования.

Вся доводимая по разрешенным средствам связи информация, проходящая по системе оперативно-технологической связи ОАО «РЖД», в обязательном порядке фиксируется рукописно ее получателями в журналах.

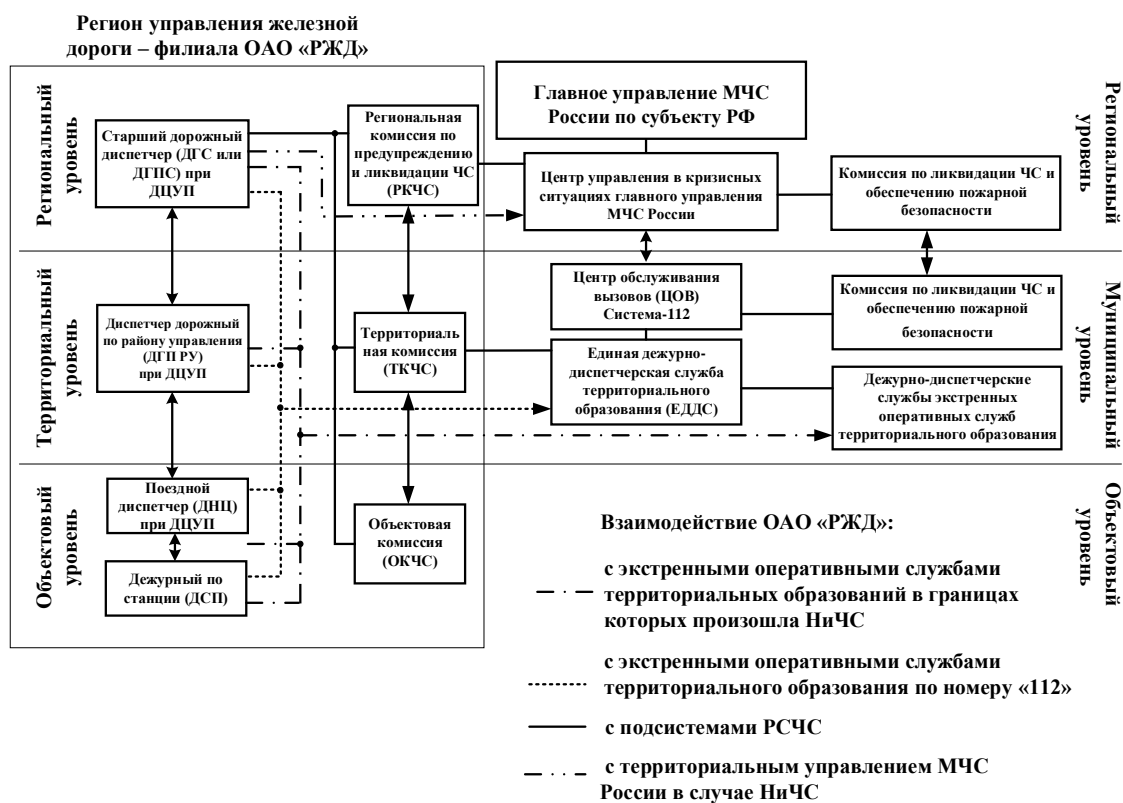


Рисунок 1 – Структурная схема процесса реагирования подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС

Оперативные данные о НиЧС до руководящего состава, находящегося вне рабочих мест и/или входящих в комиссии по предупреждению ликвидации чрезвычайной ситуации, доводятся сообщениями через сети сотовой связи.

Существующая организационная структура процесса реагирования ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС предполагает решение практической задачи доведения информации о случившемся происшествии до всех требуемых к информированию и привлечению структур и должностных лиц и не учитывает влияние таких аспектов организационной структуры, которые увеличивают временные параметры реагирования.

**Во второй главе** по результатам проведенного структурированного анализа процесса реагирования подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» на НиЧС, произошедшие во время перевозочного процесса, разработана алгоритмическая модель (рисунок 2).

В основу работы модели заложены результаты анализа процессов, происходящих при возникновении НиЧС во время перевозочного процесса, статистического анализа данных реагирования на НиЧС структурных подразделений железной дороги и экстренных оперативных служб территориального образования, привлекаемых на ликвидацию НиЧС.

В представленной алгоритмической модели каждое должностное лицо, принимающее или передающее информацию о произошедшей НиЧС, представлено звеном цепи информационного взаимодействия (ЗЦИВ).



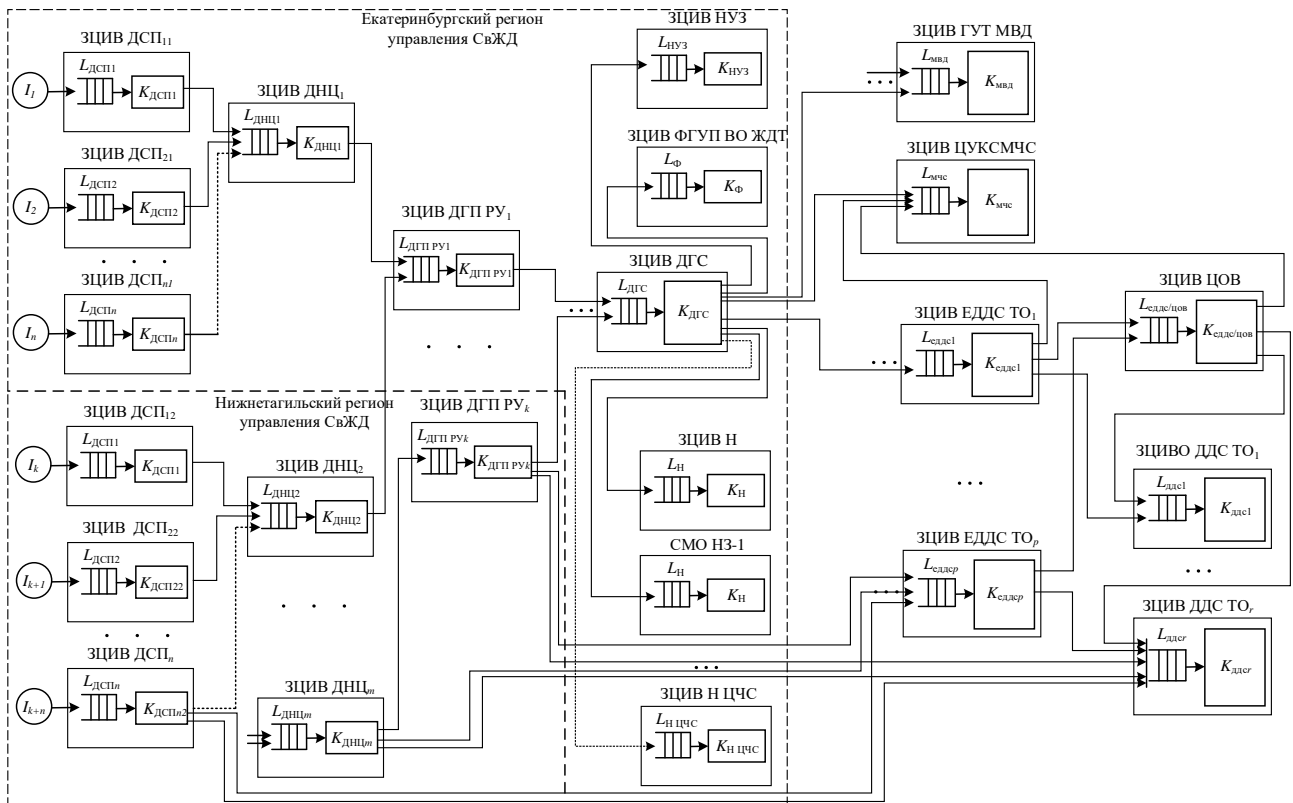


Рисунок 2 – Алгоритмическая модель процесса реагирования при возникновении НиЧС на железной дороге во время перевозочного процесса

Звенья увязаны в единую сеть информационного взаимодействия (СеИВ). Взаимосвязь между звеньями сети информационного взаимодействия установлена в соответствии с нормативно-распорядительными документами, регламентирующими процесс функционирования железной дороги в случае возникновения НиЧС во время перевозочного процесса.

Сеть информационного взаимодействия является нелинейной, т. к. возможны потери сообщений по причине ограниченной емкости накопителей  $L$  звеньев и/или размножение сообщений в сети, открытой – сообщения могут поступать от внешнего источника сообщений и выходить из сети по завершении обслуживания.

Формируемый поток сообщений может быть как однородным, так и неоднородным – различаться приоритетами.

Характер поступления и обслуживания сообщений – стохастический и описывается законами распределения.

Каждое звено в сети включает в себя блок накопителя  $L$  емкостью  $n_L$  и каналы обслуживания  $K$  в количестве  $n_K$ .

Источники первичных сообщений  $I_1 \dots I_n$  (первичные источники информирования) создают входные потоки, поступающие на вход звена первичного информирования с интенсивностью  $\lambda_{вп1} \dots \lambda_{впn}$  и имеющие одинаковое экспоненциальное распределение. Входные потоки от  $I_1 \dots I_n$  являются стационарными Пуассоновскими: случайными, стационарными

(рекуррентными), т. е. не зависящими от времени  $\lambda_{вп1} \dots \lambda_{впn} = \text{const}(t)$ , у каждого из них отсутствует последствие, ординарными.

Вероятность появления  $n_c$  сообщений в каждом входном потоке от источников  $I_1 \dots I_n$  за время  $t_\Delta$ , учитывая, что он является простейшим, определяется:

$$P_{n_c}(n_c, t_\Delta) = \frac{(\lambda_{вп} t_\Delta)^{n_c}}{n_c!} e^{-\lambda_{вп} t_\Delta}, \quad (1)$$

где  $n_c$  – количество сообщений  $n_c$ , передаваемых в единицу времени между звеньями сети информационного взаимодействия,  $\lambda_{вп} t_\Delta = M$  – математическое ожидание случайной величины  $n_c$ .

Плотность распределения интервалов  $t$  между соседними сообщениями составляет:

$$f_v(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lambda_{вп} e^{-\lambda_{вп} t} \text{ при } t > 0. \quad (2)$$

Количество входных потоков на каждое звено цепи информационного взаимодействия от генераторов  $I_1 \dots I_n$  в интервале времени  $t_\Delta$ , представляющих собой сообщения, поступающие от локомотивных бригад и иных должностных лиц, определяется количеством требующих обслуживания сообщений  $n_c$ .

Время нахождения сообщения в каждом звене в цепи информационного взаимодействия (ЦИВ) –  $t_{обсл}$ , составляет:

$$\begin{cases} t_{обсл} = t_{Лд} + t_{обр} \\ t_{обр} = t_{од} + t_{зд} + t_{рд} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $t_{Лд}$  – время ожидания принятия сообщения каждым ЗЦИВ;  $t_{обр}$  – время обслуживания сообщения каждым ЗЦИВ;  $t_{од}$  – время, затраченное на прослушивание передаваемой по сетям телефонной связи информации;  $t_{зд}$  – время, затраченное на имитацию задержки, связанную с записью полученной информации в журнал регистрации, для ЭОСТО (не все структуры и/или подразделения) электронный журнал;  $t_{рд}$  – время, затраченное на принятие решения каждым ЗЦИВ.

Среднее время нахождения сообщения в звене за промежуток времени  $\Delta$  вне зависимости от характера входного потока, времени и дисциплины обслуживания определяется соотношением среднего числа сообщений, находящихся в ЗЦИВ,  $\bar{n}_{смo}$  к интенсивности входного потока  $\lambda_v$ , поступающего на вход этого звена:

$$\bar{t}_{обр} = \frac{\bar{n}_{смo}}{\lambda_v}. \quad (4)$$

На каждое последующее звено цепи информационного взаимодействия, согласно предельной теореме, всегда будет поступать суммарный поток сообщений от предыдущих ЗЦИВ. Суммарный поток будет сходиться к Пуассоновскому при увеличении числа потоков, входящих в него. При формировании суммарного потока как стационарными, так и нестационарными потоками интенсивность его определяется:

$$\lambda = \sum_{p=1}^i \lambda_p, \quad (5)$$

где  $p$  – количество входящих потоков сообщений.

Входные потоки сообщений, обслуженные звеньями сети, на выходе каждого ЗЦИВ будут иметь ограниченное последствие и не будут ординарными, т. е. на вход следующего ЗЦИВ вполне вероятно одновременное прибытие двух и более сообщений.

Время, затрачиваемое звеном, получающим информацию для дальнейшей трансляции ЗЦИВ $n$ , от звена равнозначного или высшего порядка информационного взаимодействия ЗЦИВ $n-1$ , для доведения информации до каждого звена своей ЦИВ $n$  –  $t_{ил}$ , при количестве звеньев  $k$  в этой цепи и последовательной передаче определяется:

$$t_{ил} = \sum_{n=1}^k t_{обсл} \quad (6)$$

Для того чтобы сеть информационного взаимодействия справлялась с нагрузкой, необходимо чтобы каждое ЗЦИВ в сети справлялось с поступающей нагрузкой, для этого соотношение интенсивности входного потока  $\lambda_{в}$  к интенсивности обслуживания  $\mu_{смо}$  –  $\rho_{вп} = \frac{\lambda_{в}}{\mu_{смо}}$  для одноканального ЗЦИВ должно

соответствовать условию  $\rho_{вп} < 1$ . При  $\rho_{вп} \geq 1$  – время обслуживания и очередь вызовов в каждом ЗЦИВ неограниченно растут. Для многоканального ЗЦИВ соответствующие условия:  $\frac{\rho_{вп}}{n_k} < 1$  при  $1 \leq n_k < k$  – ЗЦИВ успевает обработать всю

поступающую нагрузку;  $\frac{\rho_{вп}}{n_k} \geq 1$  при  $1 \leq n_k < k$  – в ЗЦИВ формируются растущие очереди в накопителе  $L$ .

Звенья разработанной СеИВ имеют различную архитектуру организации обслуживания поступающих сообщений. Для звеньев, имитирующих работу диспетчерского состава службы движения железнодорожного транспорта, характерно представление системы обслуживания как одноканальной с отказами. Для звеньев, имитирующих работу единых дежурно-диспетчерских служб системы-112, центра управления в кризисных ситуациях МЧС России и дежурно-диспетчерских служб экстренных оперативных служб территориального образования – в виде многоканальной с ожиданием. Предлагаемая СеИВ не накладывает ограничений на вид ЗЦИВ, поэтому возможны исследования, учитывающие различную организацию системы обслуживания.

Для звеньев, имитирующих работу единых дежурно-диспетчерских служб системы-112 и дежурно-диспетчерских служб экстренных оперативных служб территориального образования, входной поток сообщений – нестационарный, что означает, что интенсивность потока сообщений на соответствующие службы может изменяться в течение времени  $\lambda_{вс1} \dots \lambda_{всн} = \text{var}(t)$  – нестационарный Пуассоновский поток.



уровни в соответствии с очередностью получения информации при организации процесса реагирования на НиЧС.

С целью уменьшения временных задержек в процессе реагирования на НиЧС разработана методика процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

Получение результатов численных экспериментов производилось с учетом принятия следующих условий для имитационного моделирования процесса:

1) случайности возникновения одного нештатного вызова при каждом запуске имитационной модели на моделирование процесса;

2) случайности временных параметров обслуживания каждого поступающего вызова каждым ЗЦИВ, отвечающим за прием/передачу в имитационной модели;

3) принятия единого закона распределения временных параметров обслуживания вызова каждым ЗЦИВ, отвечающим за прием/передачу в имитационной модели;

4) информация о происшествии передается в первоочередном порядке старшему должностному лицу (диспетчеру) службы движения, а далее – в структурные подразделения и должностным лицам, требуемым к информированию и/или привлечению;

5) передача информации о НиЧС в экстренные оперативные службы территориального образования осуществляется диспетчерами службы движения после принятия решения начальником территориального подразделения железной дороги (начальник станции, заместитель начальника территориального управления железной дороги);

Разработанная структура иерархии звеньев цепей информационного взаимодействия для железной дороги представлена на рисунке 4.

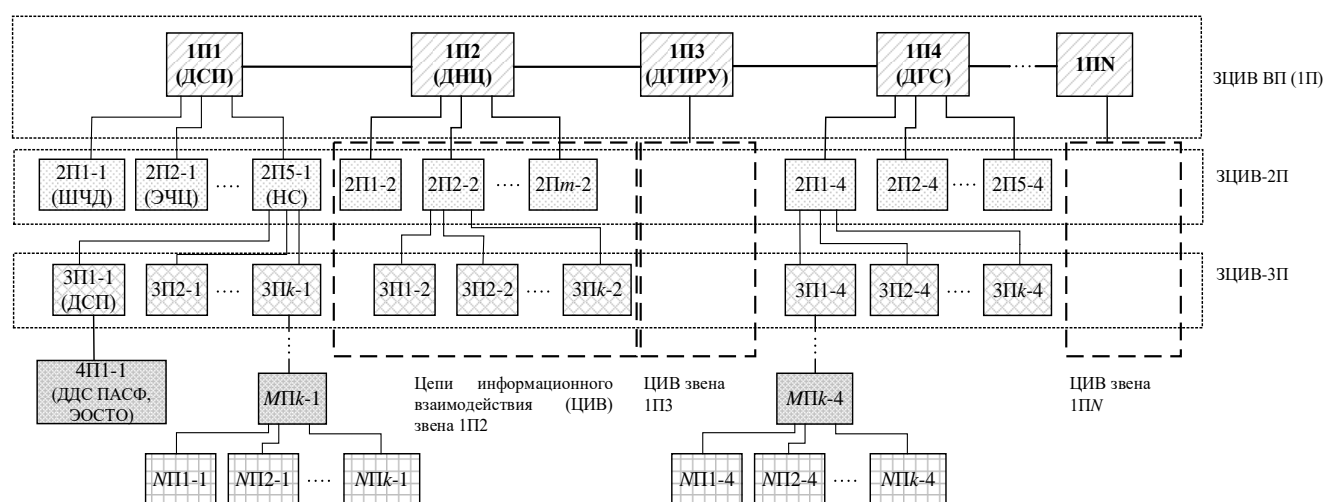


Рисунок 4 – Структурная схема организации процесса реагирования в виде иерархии звеньев цепей информационного взаимодействия

Звенья цепи информационного взаимодействия располагаются на иерархических уровнях в зависимости от очередности получения

информации. Звенья, получающие сведения о произошедшей НиЧС и ее характеристиках в первоочередном порядке от каждого предыдущего первоочередного звена в ЦИВ, являются звеньями высшего порядка 1П (ЗЦИВ-ВП или ЗЦИВ-ВП 1П). Примерами ЗЦИВ-ВП являются 1П1 – 1П $n$ .

Звенья, находящиеся в цепи информационного взаимодействия ЗЦИВ-ВП, будут являться звеньями низшего порядка (ЗЦИВ-НП). ЗЦИВ-НП также могут иметь цепи информационного взаимодействия, т. е. не являются конечными звеньями цепи. Неконечным ЗЦИВ-НП является звено 2П5-1, информируемое звеном 1П1. В цепи информационного взаимодействия звена 2П5-1 находятся конечные ЗЦИВ 3П2-1 – 3П( $k-1$ )-1 и т. д.

Так, в имитационной модели приняты следующие обозначения:

ЗЦИВ-ВП: 1П1 – дежурный по станции (ДСП), 1П2 – поездной диспетчер (ДНЦ), 1П3 – диспетчер района управления (ДГП РУ), 1П4 – старший дорожный диспетчер (ДГС).

ЗЦИВ-НП 2П в ЦИВ звена 1П1: 2П1-1 – диспетчер дистанции пути дирекции инфраструктуры (ШЧД), 2П2-1 – диспетчер дистанции электроснабжения дирекции инфраструктуры (ЭЧЦ), 2П3-1 – ответственное лицо дистанции СЦБ и другие службы, причастные к ликвидации в зависимости от типа возникшей НиЧС.

ЗЦИВ-НП 2П и ниже в ЦИВ, созданных звеньями 1П2 – 1П4: 4П1-1 – дежурно-диспетчерские службы пожарных аварийно-спасательных формирований (ДДС ПАСФ) или другие ЭОСТО при установлении взаимодействия через ДСП (звено 3П1-1) после решения начальника станции (НС) (звено 2П5-1) о привлечении данных структур; 2П2-2 – 2П6-2 – звенья порядка 2П в цепи информирования ДНЦ; 2П2-3 – 2П6-3 – звенья порядка 2П в цепи информирования ДГПРУ; 4П1-2, 4П1-3 – дежурно-диспетчерские службы пожарных аварийно-спасательных формирований или другие ЭОСТО при установлении взаимодействия соответственно через ДНЦ (3П1-2), ДГПРУ (3П1-3), после решения вышестоящего руководящего лица (соответственно 2П6-2 и 2П6-3) о привлечении данных структур; 2П1-4 – 2П5-4 – звенья порядка 2П в цепи информирования ДГС (1П4); 3П1-4 – 3П3-4 – звенья порядка 3П в цепи информирования звена 2П1-4.

Созданные ЗЦИВ-ВП 1П1 – 1П4 цепи информационного взаимодействия 1П1 – 2П1-1...1П1 – 2П4-1, 1П2 – 2П1-2, 1П2 – 2П2-3...1П2 – 2П $m$ -2 и т. д. представляют собой «последовательные» цепи информационного взаимодействия (ПЦИВ).

ПЦИВ – это такие цепи, в которых информация о НиЧС внутри каждой цепи, созданной звеном более высшего или равнозначного порядка, передается последовательно этим звеном на другие звенья равнозначного или низшего порядка, являющиеся конечными звеньями.

ЗЦИВ равнозначного или низшего порядка может формировать «распределенную» цепь информационного взаимодействия (РЦИВ), т. е. такую цепь, которая возникает, когда право передачи информации передается неконечному ЗЦИВ равнозначного или низшего порядка внутри ЦИВ

рассматриваемого звена. Внутри ЗЦИВ 2П5-1 формируются ПЦИВ 2П5-1 – 3П2-1...2П5-1 – 3Пк-1. ЦИВ, формируемые между ЗЦИВ-ВП 1П1 – 1П2, 1П2 – 1П3 и т. д., – распределенные.

Результаты моделирования процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС представлены диаграммами на рисунке 5 и рисунке 6.

Общий вид формулы для определения временной задержки  $\Delta$  в смежных ЦИВ высшего порядка относительно времени информирования звена первичного информирования ЗЦИВ $n$ -1 определяется<sup>1</sup>:

$$\Delta_{\text{ЗЦИВ}(n-1)\text{-ЗЦИВ}n} = \sum_{m=1}^l (t_{\text{рд}}(\text{ЗЦИВ}(n-1)) + t_{L\text{д}}(\text{ЗЦИВ}n) + t_{\text{од}}(\text{ЗЦИВ}n) + t_{\text{зд}}(\text{ЗЦИВ}(n))), \quad (7)$$

где  $l$  – порядок удаленности информируемого звена от звена первичного информирования,  $t_{\text{рд}}(1П(n-1))$  – время принятия решения перед передачей информации ЗЦИВ 1П( $n-1$ ) к ЗЦИВ 1П $n$ ;  $t_{L\text{д}}(1Пn)$  – время ожидания ответа ЗЦИВ 1П $n$  при информировании его ЗЦИВ 1П( $n-1$ );  $t_{\text{од}}(1Пn)$  – время прослушивания передаваемой информации ЗЦИВ 1П $n$  при информировании его ЗЦИВ 1П( $n-1$ ).

На диаграмме рисунка 6 представлено влияние изменения суммарных задержек на звеньях цепи информационного взаимодействия на время доведения информации до каждого ЗЦИВ.

По результатам имитационного моделирования процесса реагирования на возникшую НиЧС установлено:

1. В последовательных цепях информационного взаимодействия происходит линейный рост времени доведения информации о НиЧС по мере удаления звеньев низшего порядка от звеньев высшего порядка.

2. В распределенных цепях информационного взаимодействия время доведения информации о НиЧС до каждого звена будет меньше в сравнении с временем информирования того же звена в последовательных цепях информационного взаимодействия.

3. Порядок звена, формирующего цепь информационного взаимодействия, может изменяться на низший в случае, когда требуется решение звена цепи информационного взаимодействия низшего порядка на действия звена в этой цепи высшего порядка.

Звено порядка 1П (на примере ДСП) становится звеном порядка 3П, когда требуется решение звена 2П (ДС). Таким образом образуются петли из звеньев и каждое промежуточное звено в цепи передачи до требуемого к информированию звена увеличивает общее время доведения информации о НиЧС до последнего.

<sup>1</sup> Помимо основных выделенных в системе информационного взаимодействия процессов, вызывающих задержки передачи информации о НиЧС  $t_{L\text{д}}$ ,  $t_{\text{од}}$ ,  $t_{\text{рд}}$ , в формуле могут быть учтены другие существенно влияющие процессы, и задержки в них суммируются с  $t_{L\text{д}}$ ,  $t_{\text{од}}$ ,  $t_{\text{рд}}$ .

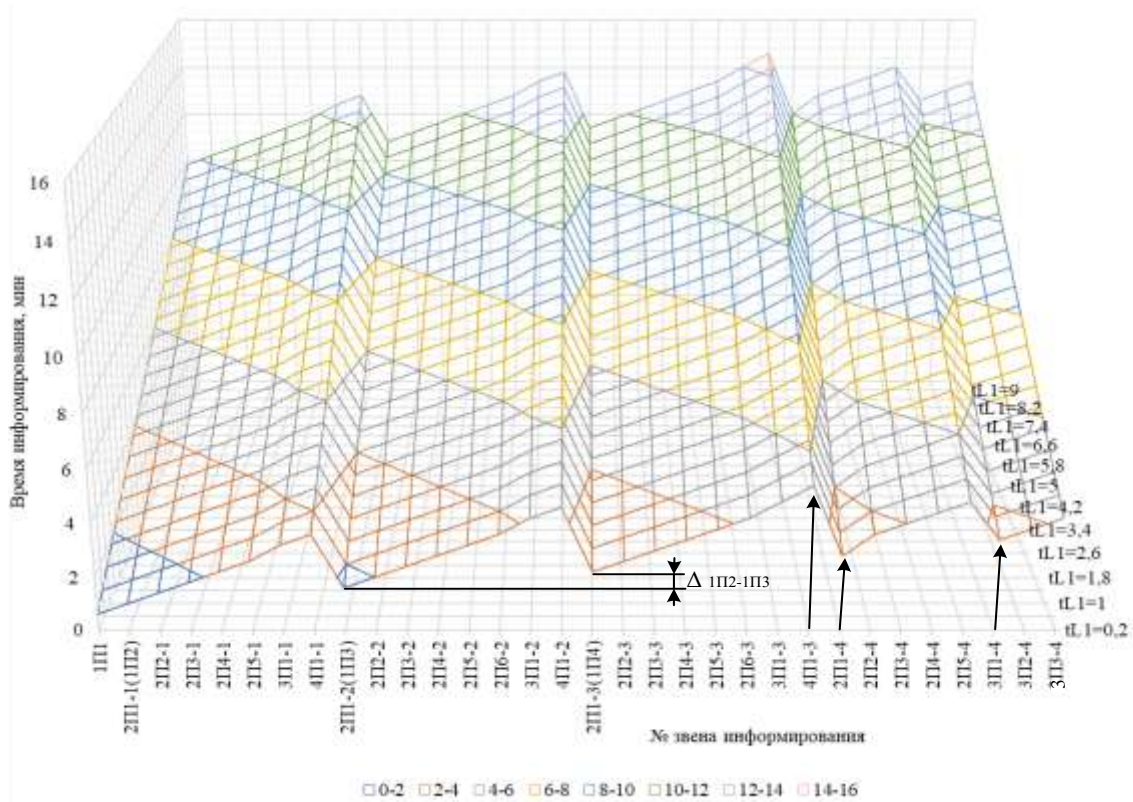


Рисунок 5 – Время передачи информации о возникшей НиЧС в цепях информационного взаимодействия, формируемых ЗЦИВ-ВП 1П – 4П при изменении времени первичного информирования ЗЦИВ-ВП 1П1 –  $t_{L1}$  (мин)

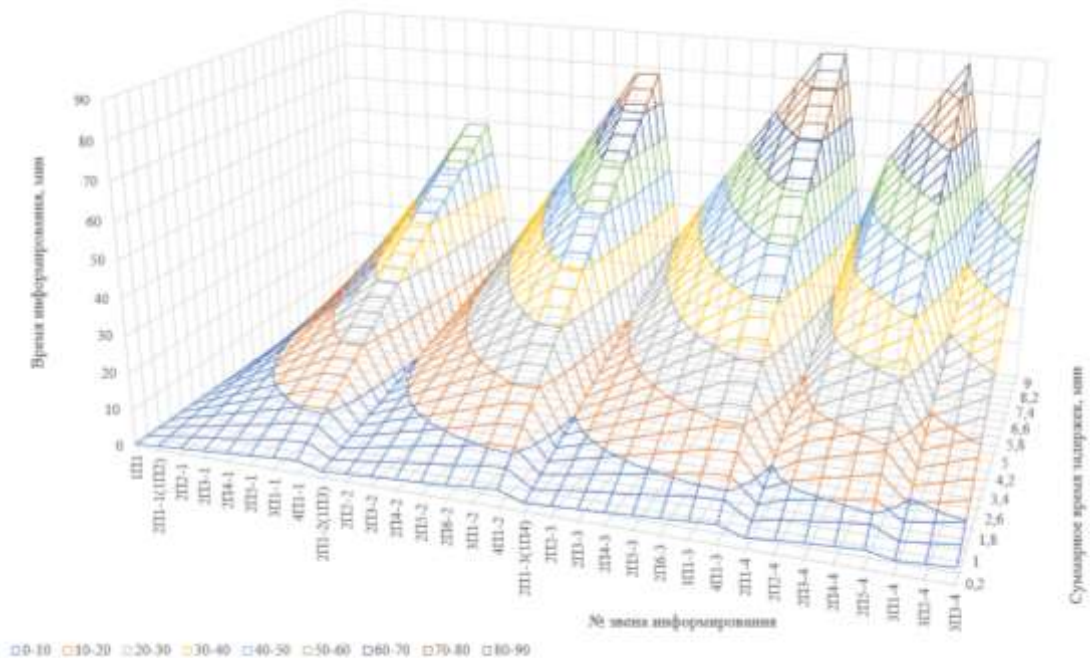


Рисунок 6 – Время передачи информации о возникшей НиЧС в цепях информационного взаимодействия, формируемых звеньями высшего порядка 1П – 4П при изменении суммарного времени задержек на каждом ЗЦИВ

Для уменьшения времени реагирования структурных подразделений железной дороги на НиЧС, влияющих на перевозочный процесс



железнодорожного транспорта, в границах времени с момента возникновения таких ситуаций до начала непосредственных работ по ликвидации и ликвидации последствий, связанных с ними, необходимо минимизировать временные задержки, связанные с влиянием человеческого фактора на рассматриваемый в работе процесс за счет:

1) введения информационных карт происшествий (ИКНиЧС), передаваемых через сеть передачи пакетных данных единой магистральной цифровой сети связи ОАО «РЖД» (ЕМЦСС);

2) создания среды хранения данных (базы данных) о НиЧС с фиксацией последних в этой среде и возможностью дополнения данных на каждом звене цепи информационного взаимодействия, взамен фиксации одних и тех же дополняемых сведений на каждом ЗЦИВ;

3) обновления дополняемых данных о НиЧС с доступом к этим данным всех требуемых к информированию и привлечению сотрудников и должностных лиц в реальном времени, т. е. уменьшение потери времени на доведение дополнительных сведений о происшествии;

4) создания путей множественной передачи зафиксированных и сохраненных данных о НиЧС в существующей структуре связи, т. е. сокращение временных задержек на ЗЦИВ за счет единовременной передачи информации на все необходимые ЦИВ;

5) создания «гибкой», т. е. изменяемой, архитектуры доведения сведений до требуемых к информированию должностных лиц различных структур по ликвидации за счет технологий поддержки принятия решений.

Процесс реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при введении информационных карт будет следующий:

1. При получении первичных сведений о НиЧС должностное лицо, получившее информацию в первоочередном порядке, заполняет информационную карту, программная реализация которой является модулем программного обеспечения, реализующего весь процесс формирования, хранения и передачи информации о НиЧС (ПО АСИО). Далее должностным лицом с применением ПО АСИО осуществляется передача информации, зафиксированной в информационной карте всем ответственным лицам, требуемым к информированию в зависимости от типа и масштаба НиЧС. Данное ПО АСИО при этом должно быть установлено на все рабочие станции, а также на мобильные устройства всех должностных лиц, ответственных за передачу информации и привлекаемых к ликвидации НиЧС на железной дороге.

2. Диспетчеры и ответственные должностные лица структурных подразделений, получившие информационную карту с первичными сведениями, могут переадресовать ее до всех причастных должностных лиц, введя в нее при необходимости дополнительные сведения. При дополнении сведений о происшествии и о ходе ликвидации информационная карта обновляется в режиме реального времени. Таким образом, вся доводимая информация будет являться актуальной в любой момент времени течения НиЧС. Определение лиц, требуемых к информированию для ускорения процесса принятия решения,

организуется с помощью обучаемой ПО «Поддержки принятия решения», также являющимся модулем ПО АСИО.

3. Начальники структурных подразделений и ответственные по направлениям деятельности в реальном времени через ПО АСИО могут выдавать распоряжения и информировать о всех действиях по ликвидации НиЧС. Данный функционал системы возможен за счет сохранения всей информации о происшествии и реагировании на него в базе данных и быстрого доступа к этим данным с любого устройства, входящего в систему.

**В четвертой главе** разработан программный продукт, реализующий предложенную методику организации процесса реагирования структурных подразделений ОАО «РЖД» при возникновении нештатных и чрезвычайных ситуаций с применением информационных карт, сформирована логическая структура баз данных.

Выполнены численные эксперименты процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС и получены результаты.

Проведено сравнение временных параметров передачи данных о НиЧС при организации взаимодействия по каналам оперативно-технологической связи железной дороги, с параметрами взаимодействия, организованного на основе сети передачи пакетных данных единой магистральной цифровой сети связи железной дороги.

Интерфейс разработанной информационной карты с примером взаимодействия должностных лиц железной дороги представлен на рисунке 7 и рисунке 8.

The screenshot shows the ASIO web application interface. At the top, there are navigation links: 'Вход в систему', 'Вызов', 'Статистика', and 'Справка'. Below this is a 'Регистрационные данные' section with input fields for 'Служба 1' and 'Сегодняшняя'. A main menu contains four buttons: 'Создать карточку' (highlighted in blue), 'Дополнить карточку', 'Реагирование', and 'Распоряжение'. The main form is divided into several sections:
 

- Дата приема:** 28-Сеп-2020
- Время приема:** 09:09:21
- Форма приема:** dropdown menu
- Место происшествия:**
  - Дорога: Свердловская
  - Станция: Викай
  - Объект: Перевод
  - Доп. сведения: text input
- Описание происшествия:**
  - Тип: Авария
  - Груз: класс 9 – прочие опасны
  - Пострадавшие: 1-10
  - Полымя: нет
  - Доп. сведения: text input
- Сведения о заявителе:**
  - ФИО: text input
  - Должность: text input
  - Контактный тел.: text input
- Информировать:**
  - Службы РЖД: button
  - ЗОСТО: button

Рисунок 7 – Интерфейс информационной карты при получении первичных сведений о возникшей нештатной и чрезвычайной ситуации

Рисунок 8 – Интерфейс информационной карты при реагировании нижестоящих в цепи информационного взаимодействия звеньев

Рисунок 8 – Интерфейс информационной карты при реагировании нижестоящих в цепи информационного взаимодействия звеньев

При поступлении информации о возникшей НиЧС сотрудником, получившим эту информацию, запускается ПО АСИО. Программное обеспечение автоматически создает информационную карту. Сотрудник, получивший информацию в первоочередном порядке, вводит полученную информацию о НиЧС и ее характеристиках в ИКНиЧС с автоматизированными полями для заполнения. ИКНиЧС создается в специализированной базе данных и является единственной в своем роде, остальные сотрудники будут видеть ее отображение, изменяющееся в реальном времени. После заполнения первичных сведений сотрудник передает информационную карту в соответствии с регламентом взаимодействия, утвержденным в ОАО «РЖД» на случай возникновения НиЧС, следующему ответственному должностному(-ым) лицу(-ам), отметив его(их) в предлагаемом перечне после нажатия на кнопку соответствующих служб.

Имитация работы модели процесса реагирования структурных подразделений железной дороги, с применением информационных карт, проводилась при тех же вариациях значений суммарных временных задержек на звеньях цепи информационного взаимодействия, что и модель процесса реагирования, рассмотренная в главе 1 исследования. Результаты моделирования представлены на рисунке 9.

На рисунке 10 и рисунке 11 представлены диаграммы отношения времени получения информации о НиЧС звеньями при реагировании в существующей системе ко времени при введении в процесс реагирования предлагаемой методики, в зависимости от уровня, на котором происходит реагирование.

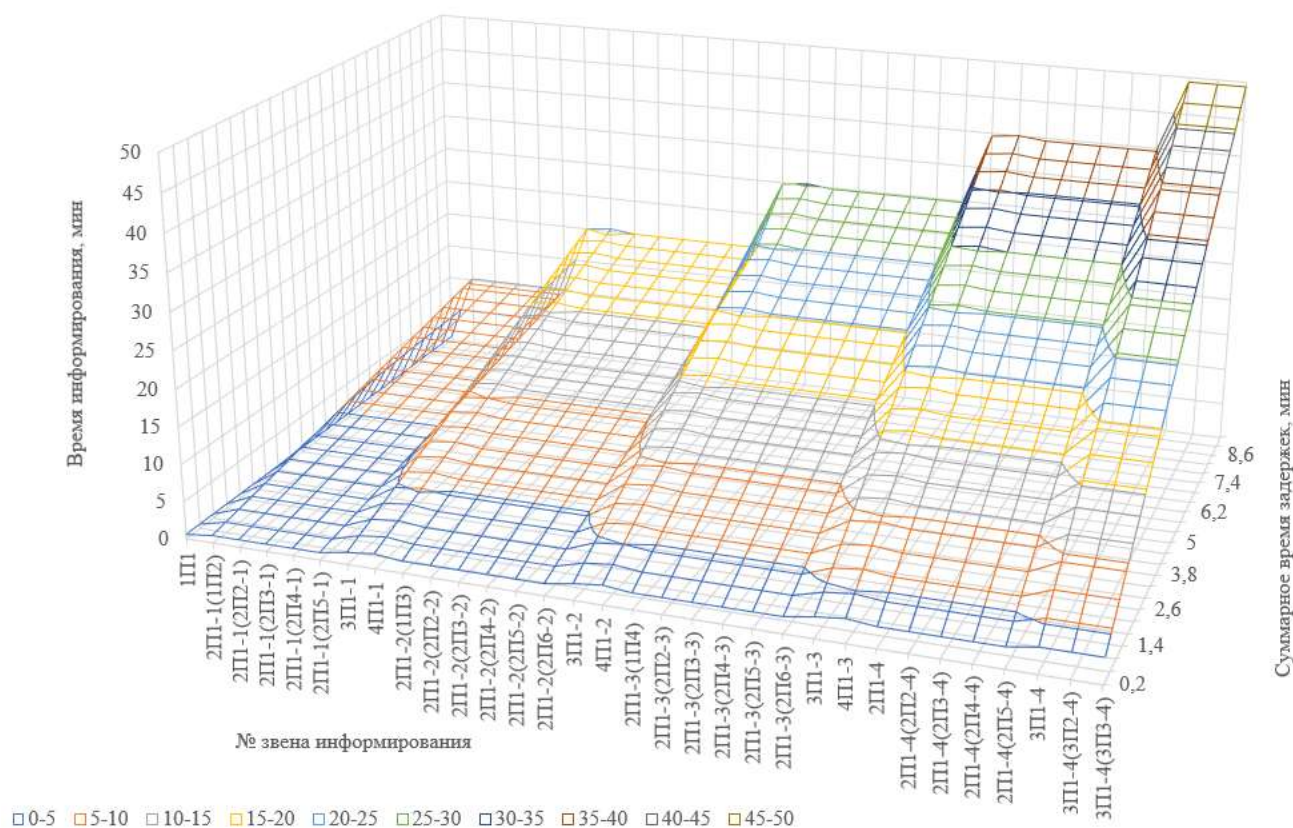


Рисунок 9 – Время информирования звеньев различного порядка в процессе реагирования, организованном с применением информационных карт при изменении суммарного времени задержек на каждом звене

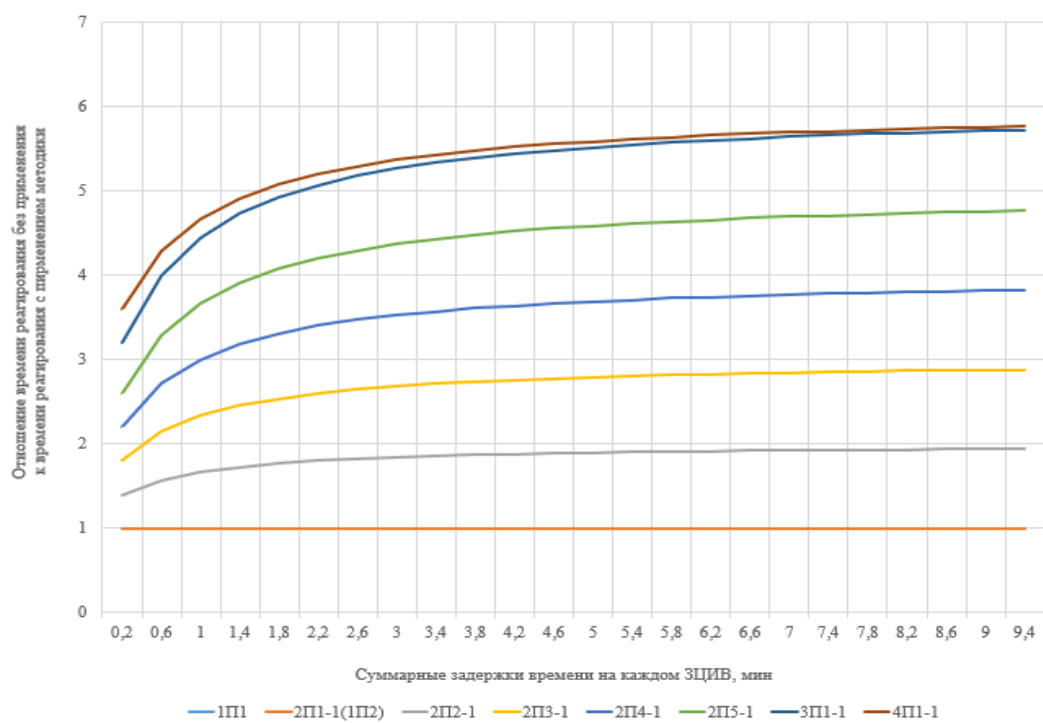
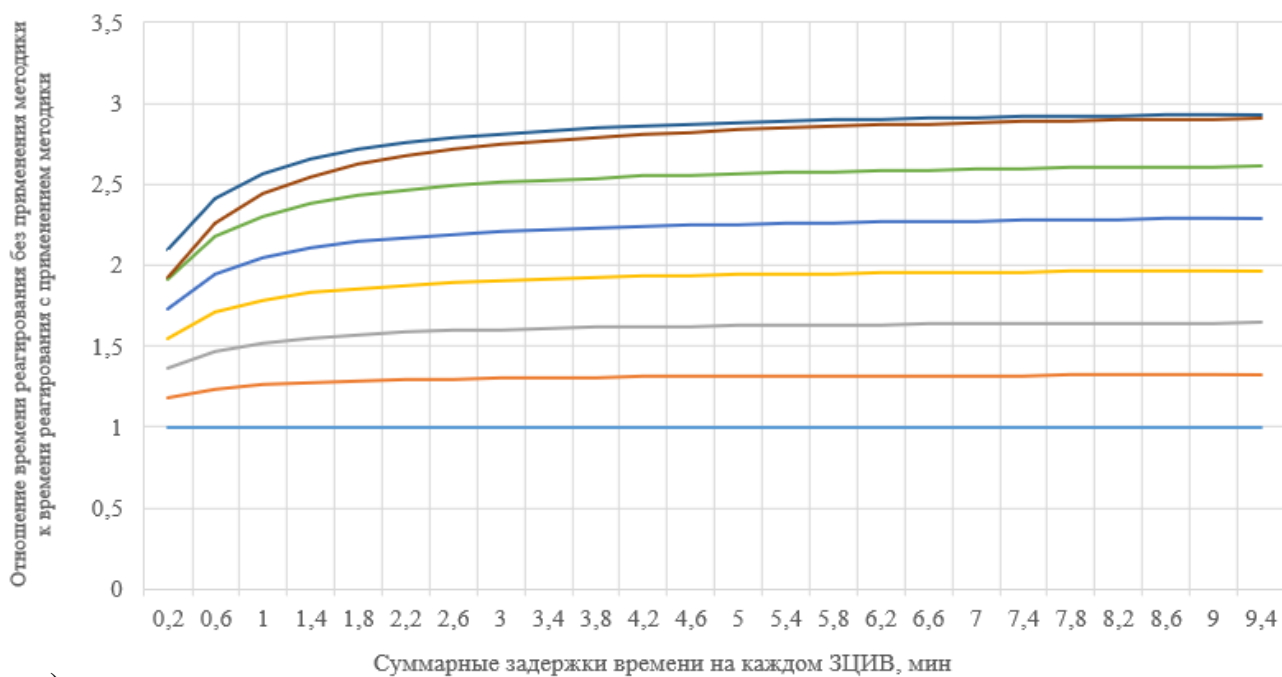
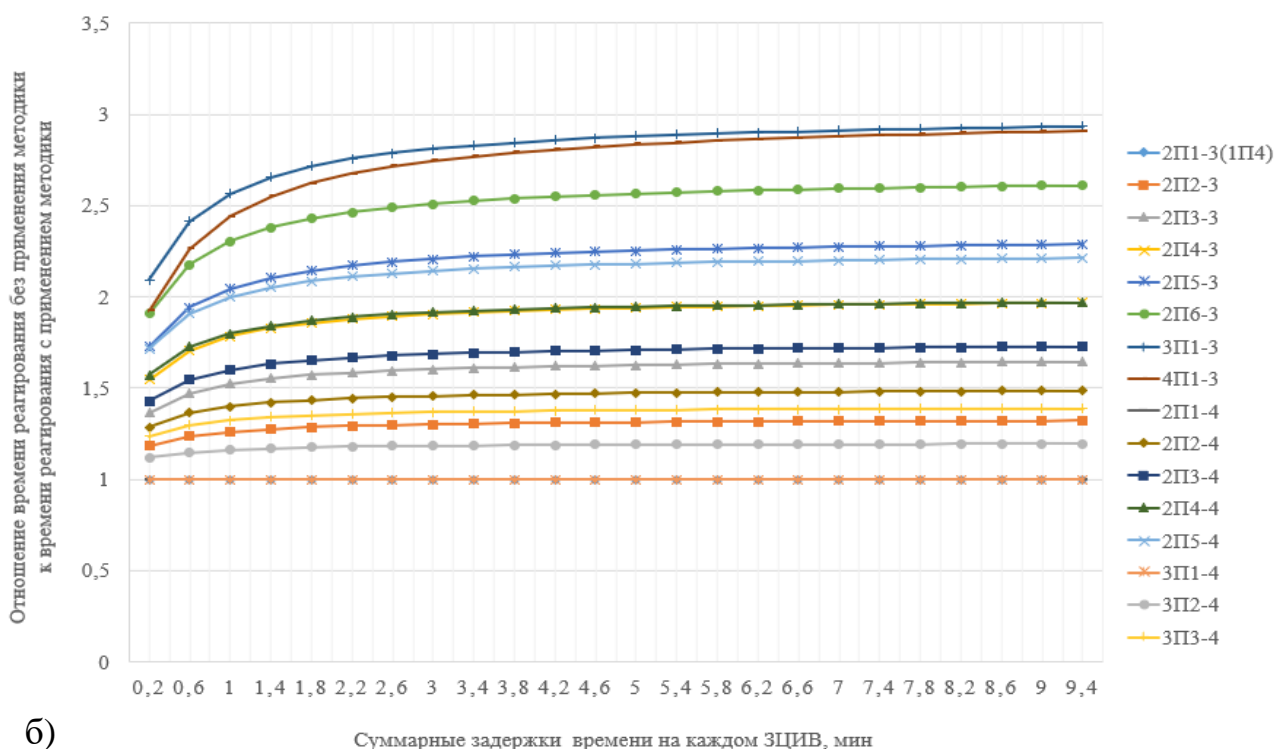


Рисунок 10 – Отношение изменения времени реагирования на объектовом уровне



а)

— 2П1-3(1П4) — 2П2-3 — 2П3-3 — 2П4-3 — 2П5-3 — 2П6-3 — 3П1-3 — 4П1-3



б)

Рисунок 11 – Отношение изменения времени реагирования на уровне реагирования а) территориальном; б) региональном

По результатам проведенного анализа вариантов расчёта на имитационной модели, процесс реагирования организованный по сети передачи пакетных данных при помощи информационных карт, демонстрирует сокращение времени реагирования от 1,2 до 5,8 раза, в зависимости от расположения должностных лиц в цепи передачи информации и уровня, на котором происходит реагирование

структурных подразделений железной дороги, в сравнении с существующим процессом реагирования организованным по каналам оперативно-технологической связи железной дороги.

Сокращение времени доведения информации до каждого звена цепи информационного взаимодействия происходит за счет формирования единой базы хранения сведений и внесения изменений и дополнений с доступом к ним в реальном времени, применения обучаемой системы поддержки принятия решения на основе систематизации и анализа полученных данных, контроля действий должностного лица.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения диссертационного исследования достигнута поставленная цель.

Результаты исследования процесса реагирования направлены на практическое решение задачи минимизации последствий от возникших на железной дороге нештатных и чрезвычайных ситуаций, за счет уменьшения времени реагирования.

Основными результатами работы являются следующие положения:

1. Консолидирована информация нормативно-правовых и нормативно-распорядительных документов о процессе реагирования подразделений ОАО «РЖД» в системе РСЧС при возникновении нештатных и чрезвычайных ситуаций на железной дороге.

2. Предложен совершенствованный структурированный процесс реагирования подразделений ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС во время организации перевозочного процесса, их взаимодействие с ЭОСТО, иными подсистемами РСЧС на уровнях реагирования в границах железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

3. Разработана алгоритмическая модель процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС. Важной особенностью модели является возможность ее детализации и расширения для решения поставленной задачи.

4. Разработана имитационная модель процесса реагирования структурных подразделений железной дороги – филиала ОАО «РЖД» при возникновении НиЧС, позволяющая воспроизводить процесс при различных комбинациях определяющих ее работу параметров.

5. Предложена структура иерархии звеньев цепи информационного взаимодействия при реагировании на НиЧС. Иерархия предполагает расстановку ответственных за передачу информации должностных лиц на уровни в зависимости от очередности в общей структуре процесса реагирования.

6. Получены результаты имитационного исследования модели, обработанные в соответствии с предложенной иерархией звеньев цепи информационного взаимодействия.

7. Определены временные задержки доведения информации в процессе реагирования при возникновении НиЧС на объектах железной дороги во время перевозочного процесса.

Увеличение порядка информируемого звена в последовательных цепях информационного взаимодействия и(или) удаление от звеньев высшего порядка, получающего сведения в первоочередном порядке, приводит к линейному росту времени доведения информации.

8. Предложена методика, реализующая процесс реагирования на возникшую НиЧС с применением информационных карт. Разработанная методика позволяет предложить организацию процесса реагирования для решения задачи ускорения реагирования за счет минимизации влияния человеческого фактора на процесс передачи информации в процессе реагирования.

9. Разработано программное решение, реализующее применение информационных карт в имитационной модели процесса реагирования структурных подразделений ОАО «РЖД» на возникшую во время перевозочного процесса ситуацию нештатного и чрезвычайного характера.

10. Получены результаты имитационного моделирования процесса реагирования с применением предложенной методики.

11. Доказано, что применение предложенной методики для организации процесса реагирования структурных подразделений железной дороги в случае возникновения НиЧС уменьшает время доведения информации до структур, в зависимости от уровня реагирования и временных задержек на каждом звене цепи информационного взаимодействия от 1,2 до 5,8 раз.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

При введении в эксплуатацию для организации перевозочного процесса интеллектуального поезда с системами искусственного интеллекта, а также космического контроля мест схода железнодорожного подвижного состава с возможностью самостоятельной передачи информации о случае возникновения нештатных и чрезвычайных ситуаций, предлагаемое в работе программное решение реализующее методику процесса реагирования, с применением информационных карт, позволит связать в единый автоматизированный процесс передачу информации с места происшествия, до всех требуемых лиц и структур требуемых к информированию и привлечению. В связи с чем, потребуется:

1. Проведение оценки различных вариантов организации процесса реагирования, обоснование временных параметров реагирования.

2. Разработка рекомендаций по совершенствованию регламентов взаимодействия процесса реагирования структурных подразделений железной дороги.



**СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов для опубликования основных научных результатов диссертаций:**

1. Сисина, О. А. Моделирование информационного обмена для случая возникших нештатных и чрезвычайных ситуаций во время перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / О. А. Сисина, Н. Ф. Сирина [Текст] // Вестник УрГУПС. – 2020. – № 1 (45). – С. 58–68.

2. Сисина, О. А. Имитационное моделирование информационного обмена для случая возникших чрезвычайных ситуаций во время перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / О. А. Сисина, Н. Ф. Сирина [Текст] // Транспорт Урала. – 2020. – № 1 (64). – С. 15–22. – DOI: 10.20291/1815-9400-2020-1-15-22.

3. Сисина, О. А. Результаты имитационного моделирования процесса информационного взаимодействия для случая возникших чрезвычайных ситуаций во время перевозочного процесса на железнодорожном транспорте [Текст] / О. А. Сисина, Н. Ф. Сирина // Вестник РГУПС. – 2020. – № 2 (78). – С. 123–131.

**Авторские свидетельства:**

4. Модель процесса информационного обмена на железной дороге при возникновении ситуаций чрезвычайного характера (АСИО) [Текст]: свид. №2020612204 / Сисина О. А., Сирина Н. Ф.; правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Уральский государственный университет путей сообщения; – № 2020611131; заявл. 05.02.2020; опубли. 19.02.2020.

---

**Сисина Ольга Андреевна**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РЕАГИРОВАНИЯ  
ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ НЕШТАТНЫХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ  
СИТУАЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ОАО «РЖД»)**

05.02.22 – Организация производства (транспорт, технические науки)