

*reducing deformations and defects that occur in the elements of the upper structure of the track and the structures of the roadbed on the main tracks and local railway networks. Therefore, special attention is paid to improving the methods of increasing the strength and stability of the roadbed in modern conditions of operation of railways, characterized by an increase in train speeds on high-speed sections and an increase in axle load, as well as the introduction of new designs of elements of the upper structure of the track.*

**Keywords:** railway transport, railway track, upper structure of the track, construction of the roadbed, increase in train speeds, reduction of deformations, ballast layer, intermediate fasteners, under-rail gaskets.

УДК 656.2

**АХМЕТОВ Б.С.** – д.т.н., профессор (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

**АБУОВА А.Х.** – доктор PhD (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)

## **СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ФИНАНСОВЫХ РЕСУРСОВ НА ЛИКВИДАЦИЮ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

### **Аннотация**

*Разработан и протестирован программный продукт – система поддержки принятия решений (DSS Emergency) для выработки рекомендаций в ходе выбора рациональных финансовых стратегий ситуационному центру по ликвидации чрезвычайных ситуации и ликвидаторам, работающим непосредственно на месте аварии или в зоне чрезвычайных ситуации.*

*Разработанная база знаний и искусственная нейронная сеть обеспечила не только решение прикладной задачи по распределению финансовых ресурсов, направленных на ликвидацию чрезвычайных ситуации, но также дала возможность выполнять прогнозную оценку последствий принятых решений по выбору конкретных финансовых стратегий ликвидации последствий аварий и чрезвычайных ситуации на железнодорожном транспорте в условиях структурной и параметрической неопределенности.*

*Реализация программного продукта DSS Emergency выполнена по модульному принципу, что даст возможность дополнять систему поддержки принятия решений другими модулями. Предложенный программный продукт является достаточно универсальным и может быть расширен за счет функционала других подзадач.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, чрезвычайные ситуации, ликвидации последствий аварии, программный продукт, финансовые стратегии, модульный принцип.

### **Введение.**

Обычно, на пути правильного принятия решений руководителем ликвидации чрезвычайных ситуации (ЧС) на железнодорожном транспорте (ЖДТ), возникает ситуация, когда приходится сталкиваться с низкой точностью оперативной информации, полученной от аварийных бригад или диспетчерских служб. Также необходимо оценить большое значительное количество вариантов развития техногенной аварии или ЧС.

Например, если авария или ЧС вызваны опрокидыванием ЖД цистерн, что может сопровождаться развитием пожара или загрязнением местности. Как следствие, необходимо оценить большое количество вариантов и возможных способов ведения оперативных действий при ликвидации последствий ЧС [1, 2].

Для облегчения планирования действий (взаимодействия) аварийно-спасательных и иных подразделений, персонала, специальных подразделений (например, по радиоактивной или химзащиты), населения, центральных и местных органов исполнительной власти и органов местного самоуправления по локализации и ликвидации техногенных аварий или ЧС обычно руководствуются различными нормативными планами по локализации и ликвидации аварийных ситуаций на железной дороге (ЖД) [3]. В этих документах рассматриваются наиболее вероятные случаи возникновения техногенных аварии (ТГА) и чрезвычайных ситуации на железнодорожном транспорте, и алгоритм действий руководителя или лиц, принимающих решения (ЛПР) в ходе ликвидации ЧС. Его действия и решения могут включать организационные и практические меры, поскольку в условиях быстроменяющейся обстановки время на принятие правильных решений ограничено. Зачастую ЛПР трудно правильно оценить ситуацию и принять обоснованное управленческое решение. Однако на практике оперативная информация может значительно отличаться от типичной, что делает планы по локализации и ликвидации аварийных ситуаций на ЖДТ малоэффективным. Также, как показывает опыт, в них не предусмотрена адаптация действий под конкретные условия, возникающие в ходе ликвидации ЧС или ТГА на ЖДТ. Охват значительно большего количества вариантов и ситуаций делает план ликвидации последствий аварий и ЧС значительным по объему и неудобным для использования. Именно поэтому в настоящее время актуальна потребность в надежных и точных автоматизированных информационных технологиях, которые способны хотя бы частично разгрузить ЛПР в процессе принятия решений.

В последние десятилетия в практике создания интеллектуальных систем накоплен значительный опыт, который рекомендует шире внедрять идеи, связанные с интеграцией имеющихся разнотипных подходов к созданию базы знаний (БЗ) для системы поддержки принятия решений (СППР) или экспертных систем (ЭС).

При этом многие проектировщики обращают особое внимание на использование методов принятия решений в условиях неопределенности, что, в свою очередь, предусматривает различные методы и модели затрагивающие и учитывающие нечеткие ситуации в ходе поддержки принятия решений.

При этом следует помнить, что эти решения касаются не только непосредственно руководящих действий, но и охватывают широкий спектр вопросов, которые относятся к сегментам технических, организационных, финансовых и других задач, решаемых при ликвидации последствий ЧС. Использование автоматизированных систем поддержки принятия решений на основе принципов нечеткой логики и нейронных сетей значительно упрощает и мотивирует процесс принятия решения руководителем ликвидации ЧС. Принципиальное отличие этой системы от уже имеющихся информационно-консультационных систем заключается в том, что она позволяет оперировать так называемыми качественными характеристиками.

### **1. Обоснование среды программирования для создания СППР.**

На основании анализа опыта проектирования подобных систем [4, 5], а также учитывая типовые спецификации современных компьютерных систем, в качестве среды разработки для СППР была выбрана среда программирования RAD Studio 10. В данной среде программирования использовался продукт Delphi 10. Такой выбор, прежде всего, продиктован теми широкими возможностями, которые данная среда программирования предоставляет разработчикам для реализации сложных проектов под операционную

систему Windows. Программный код также достаточно легко может быть адаптирован для ОС Linux, поскольку код можно трансформировать, используя возможности среды разработки Lazarus.

Delphi 10 – это продукт, предназначенный для быстрого создания приложений, и поддерживающий концепцию RAD (Rapid Application Development – быстрая разработка приложений). Обращает на себя внимание, что процессы, связанные с созданием интерфейсов будущей СППР, являются интуитивно понятными и достаточно простыми даже для рядового программиста, который способен поддерживать процесс разработки на протяжении всего жизненного цикла ПП. Именно поэтому Delphi 10, относящийся к RAD-средам проектирования, можно считать наиболее подходящей платформой для визуальной среды разработки. Это позволяет уже на стадии проектирования непосредственно видеть рабочие и диалоговые окна будущего программного продукта (ПП). То есть, проектировщик видит уже фактический готовый интерфейс СППР, а процедуры и функции, отвечающие за вывод решений, синтезируемых СППР, непосредственно основаны на моделях, представленных в предшествующих разделах диссертационной работы.

Delphi 10 является достаточно высокопроизводительным инструментом, который включает в себя компилятор кода и средства визуального проектирования. Аналогичный способ используется в Microsoft Visual Studio.

В Delphi 10 также вошли:

- улучшенные библиотеки с десятками визуальных компонентов;
- новые встроенные генераторы отчетов;
- разнообразный инструментарий для профессиональной разработки информационных систем, экспертных систем и СППР или же традиционных ПП для операционных систем семейства Windows.

Таким образом, прежде всего Delphi 10 предназначен для разработчиков, занимающихся написанием ПП для компаний любого размера от небольших предприятий до трансконтинентальных корпораций. Одним из главных преимуществ данной среды проектирования стала возможность оперативно разрабатывать ПП, рассчитанные под архитектуру клиент-сервер, во взаимодействии с такими системами управления базами данных (СУБД) как MySQL и Interbase.

Среда проектирования Delphi позволяет компилировать достаточно компактные и высокоэффективные выполняемые модули (.exe), а также динамически присоединяемые библиотеки (.dll), что особенно актуально при разработке модульных систем, к которым можно отнести и разрабатываемую нами СППР. В свою очередь компактные и быстро работающие модули сложных ПП, существенно снижают нагрузку на клиентские рабочие места, что также имеет важное значение и для пользователей.

Преимущества Delphi 10 в сравнении с сопоставимыми ПП, например, таких компаний как Microsoft (Visual Studio) и Eclipse CDT можно сформулировать так:

- быстрая разработка приложения (RAD);
- хорошая производительность разработанных программных продуктов;
- невысокие требования разработанных программных продуктов к ресурсам компьютеров или клиентских рабочих станций;
- возможность масштабировать приложение за счет добавления или имплементации новых компонент;
- возможность разрабатывать собственные новые компоненты или инструменты, например, когда потенциального заказчика не устраивает классический компонент, установленный по умолчанию. Заметим, что доступ к существующим компонентам и инструментам Delphi 10 можно просмотреть и организовать в исходных кодах;
- хорошая читабельность иерархии объектов в проекте.

Для того, чтобы окончательно обосновать, почему наш выбор остановился на RAD Studio 10, кратко перечислим некоторые недостатки языка C++ в сравнении с Object Pascal:

1) Надо делать много инициализаций (например, выполнять регистрацию классов окон, организацию циклов обработки сообщений, выполнять процедуры, связанные с созданием оконных функций, выбором пиктограмм для окон и прочие задачи, возникающие в ходе реализации проекта). Нет необходимости обладать навыками системного программиста и в совершенстве знать функции WinApi. Заметим, что в Delphi 10 процессы, связанные с системным программированием, уже имплементированы и непосредственно встроены в среду разработки RAD Studio 10. При этом инициализация по умолчанию уже работает. Таким образом, у программиста имеется возможность непосредственно сосредоточиться на алгоритмах или сделать акцент в проекте на организации взаимодействия главного файла (.exe) с динамически подключаемыми библиотеками.

2) По признанию многих практикующих разработчиков, имеющих опыт проектирования программных продуктов как в Delphi 10, так и в C++ (Visual Studio), синтаксис последнего сложнее, а также необходимо постоянно учитывать нюансы меняющихся стандартов языка C++. Хотя код C++ и выглядит более компактно и для опытного программиста более понятен при восприятии.

3) Существенной сложностью написания кода на C++ остается необходимость постоянно отслеживать регистр символов, так как C++ чувствителен к регистрам, в которых набраны символы.

4) В Delphi 10 классы (объекты) можно располагать только в динамической памяти. Тогда как в C++ в это можно делать как в статической или динамической памяти, так и в стеке. Это делает приложения на Delphi более безопасным с точки зрения безопасности и защиты от взлома.

5) Как уже указывалось выше, достаточно просто приложения, разработанные в среде Delphi под ОС Windows, можно трансформировать под среду программирования Lazarus. Данная среда программирования внешне похожа на Delphi, а основой Lazarus является FreePascal.

6) Однако размеры разрабатываемых на Lazarus приложений все еще велики, хотя среда стремительно совершенствуется и по мере развития этот недостаток, очевидно, будет устранен.

7) Также пока Lazarus не поддерживает работу динамических библиотек. Потому программные продукты Lazarus должны включать в себя все используемые пакеты.

8) Для запуска Delphi 10 не требуется мощная аппаратная платформа. Достаточно будет 4 Гбит ОЗУ и процессор с двумя ядрами.

9) Небольшие программные продукты, разработанные в Delphi 10, смогут работать на любых даже маломощных компьютерах, а для их повседневной эксплуатации не требуется ни большой объем оперативной памяти, ни производительный процессор.

Еще одним преимуществом данной среды разработки именно для информационных систем или систем поддержки принятия решений стала возможность использования представления программы как MDI (Multiple Document Interface). То есть, приложение можно представить, как несколько дочерних окон, располагающихся внутри главного окна программы. Именно такой способ и выбран для разрабатываемого в рамках исследования программного продукта.

## **2. Описание работы системы поддержки принятия решений по автоматическому распределению финансовых ресурсов на ликвидацию чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте.**

Содержание термина «нечеткость» входной информации для разрабатываемой СППР, является многозначной. В разной научной и справочной литературе можно встретить разнообразные трактовки этого термина [6]. В рамках программной реализации СППР, рассматриваются только некоторые основные его компоненты.

Согласно задаче, остановимся на недетерминированности вывода, многозначности интерпретаций, независимости, неполноте и неточности знаний.

*Недетерминированность выводов* можно характеризовать как признак большинства ЭС и СППР. Данный термин означает, что заранее способы решения четких задач и проблем, возникающих в ходе ликвидации ЧС, предопределить нельзя. Именно поэтому методом проб и ошибок эксперты, формирующие БЗ, синтезируют цепочки логических выводов, которые согласуются с уже существующими знаниями в конкретной предметной области. Например, в нашем случае в области решения задач по ликвидации последствий ЧС или техногенных аварий на ЖД. В случае, когда выводы не дают ожидаемого результата, организуют дополнительные процедуры по переборке переменных и правил в БЗ. При этом происходит повторное возвращение результата для поиска иных цепочек и т.д. Подобные методы основаны на определении некоторых первичных путей, приводящих к конечной цели. Сегодня для решения сопоставимых задач созданы достаточно производительные эмпирические алгоритмы. При этом большинство подобных алгоритмов касается различных этапов формирования базы знаний в четкой предметной области.

Под *многозначностью интерпретаций* обычно понимают события в задачах по распознаванию [5]. В таких задачах достаточно серьезной является проблема многозначности в содержании слов. Также не всегда можно однозначно определить подчиненность слов или их порядок в предложениях и т.д. Проблемы, связанные с пониманием смысла информации, могут возникать в любых системах, но, прежде всего в таких, которые рассчитаны на взаимодействие с абонентами на естественно-природных языках, в частности в БЗ. В процессе компьютерной обработки входных данных многозначность можно устранить в ходе оценочных процедур по выбору верных интерпретаций команд эксперта. Для этого разработаны и широко используются специализированные методы, к которым, например, можно отнести метод релаксации, который предназначен для предотвращения регулярных многозначностей в процессе интерпретирования изображений [6].

Под *ненадежностью знаний или выводов* следует понимать тот факт, что для оценки их достоверностей нельзя применить только бинарную шкалу (например, 1 – достоверно, 0 – недостоверно). В ходе тонких оценок достоверностей знаний, присутствующих в БЗ, лучше применить вероятностный метод. Например, в некоторых ЭС или СППР применяют методы получения умозаключений на основе коэффициентов уверенности. В реальной практике достаточно широко распространены СППР и ЭС, которые построены на процедурах получения выводов, основанных с помощью аппарата нечеткой логики.

В работах, которые посвящены практическим аспектам проектирования СППР, отмечается, что добиться абсолютной полноты знаний в соответствующих БЗ невозможно. Этот факт в полной мере касается и процедуры наполнения БЗ СППР в ходе ликвидации ЧС на железной дороге, поскольку состояние базы знаний будет изменяться со временем.

Однако, в отличие от рутинных операций по добавлению или корректировке (обновлению) данных в БД, добавление новых знаний в БЗ может порождать сложности, связанные с получением выводов, которые будут иметь противоречия друг с другом. То есть, новые выводы могут вступать в противоречие с уже имеющимися выводами, которые были получены на основании более ранних знаний. В такой ситуации противоречивости старых и новых знаний, содержащихся в БЗ, СППР может выявиться не

работоспособной, и, соответственно ЛПР вновь придется опираться на собственный опыт в принятии решений.

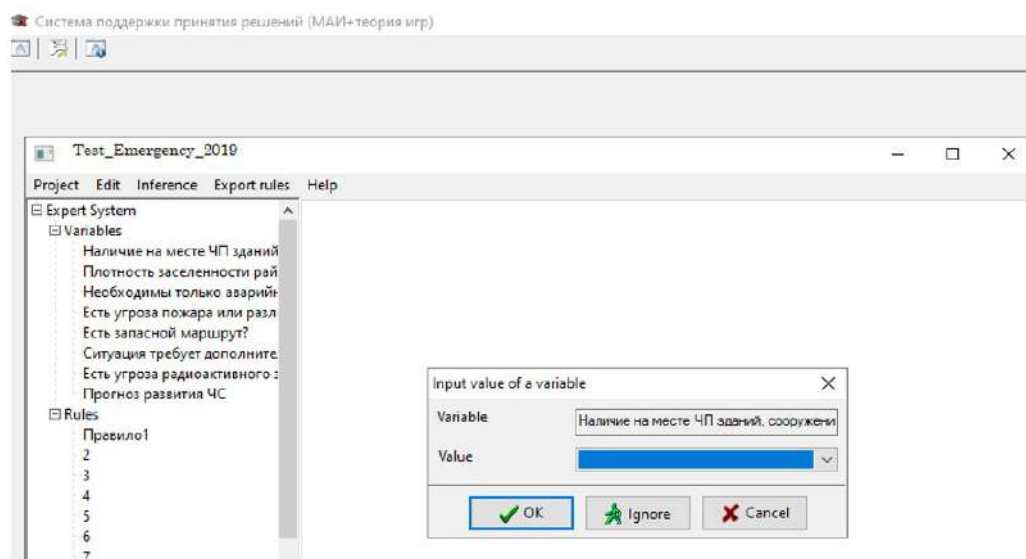
Знания, как форма количественных данных, могут быть неточными. Однако для преодоления этого недостатка можно использовать различные подходы, нивелирующие этот недостаток, например, задействовать параметры, определяющие уровни значимости, степени адекватности и т.д. данных в БЗ. Как и другие знания, лингвистические данные могут быть неточными. Следовательно, многовариантность термина «нечеткая входная информация» приводит к различным определениям и интерпретации трактовок. А этого категорически нельзя допускать в БЗ СППР, которые принимают ЛПР в процессе принятия решений по ликвидации ТГА и/или ЧС на ЖДТ. Особенно это актуально в таких сложных вопросах как управление людскими ресурсами, принимающими участие в ликвидации ЧС.

Таким образом, ликвидация ЧС на ЖДТ – сложный процесс, который требует от ЛПР высокой квалификации при принятии решений. Также требуется верно оценить входную информацию о конкретной аварии или ЧС.

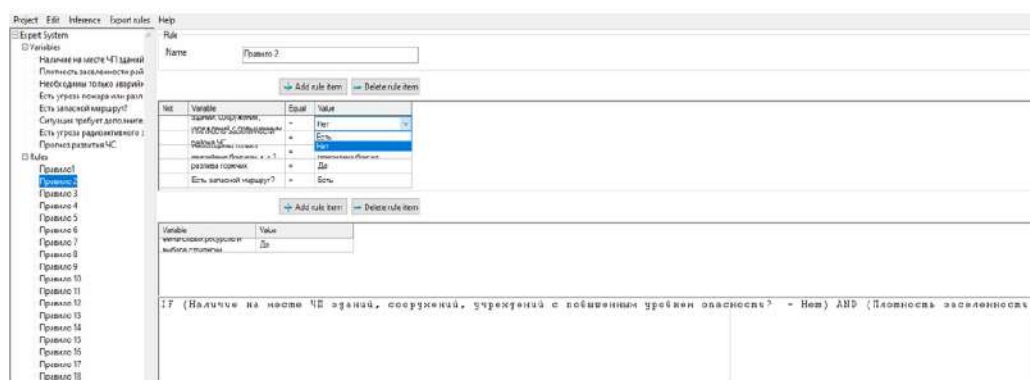
Однако используемые способы поддержки принятия решений не всегда эффективны. Это можно пояснить тем, что на практике используемая ЛПР оперативная информация может не совпадать с типовой, которая записана в БЗ. В то же время достаточно сложно постоянно адаптировать традиционные алгоритмы, используемые по ходу принятия решений, к конкретным ситуациям и местам возникновения ЧС.

Использование информационных технологий в деятельности структур, ответственных за ликвидацию ЧС, открывает широкие возможности для разработки и создания на их основе нового класса автоматизированных систем поддержки принятия решений, основываясь на принципах как четкой, так и нечеткой логики. То есть, таких систем, которые на базе заложенной в них информации смогут «подсказывать» руководителю, какое решение является наиболее обоснованным и правильным, а «умение» оперировать «нечеткой» входной информацией делает такие системы максимально адаптированными для практического использования.

Работа системы организована как комплексное использование нескольких модулей, каждый из которых может использоваться как независимый программный продукт для оценки и прогнозирования развития ситуации в зоне ЧС, так и в комплексе (рисунок 1).



а) редактор переменных



б) редактор правил СППР

Рисунок 1 – Общий вид окон СППР для случая мультимодального оконного режима работы

Редактирование базы данных организовано в интуитивно понятном интерфейсе, где можно добавлять или редактировать правила для конкретной задачи.

Эксперт или ЛПР в ходе ликвидации последствий ЧС может в диалоговой форме путем выбора соответствующих пунктов выбирать варианты ответов на вопросы, которые формируются СППР (рисунок 2).

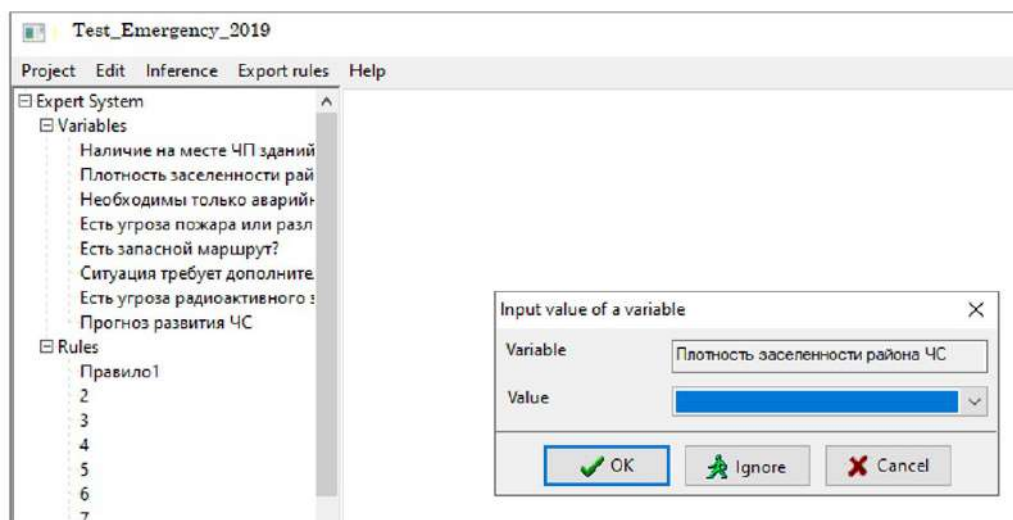


Рисунок 2 – Пример диалога ЛПР (или эксперта) с модулем СППР

По мере необходимости базу знаний СППР можно расширять, привлекая самых квалифицированных экспертов, у которых уже имеется опыт ликвидации подобных ЧС (рисунок 3).

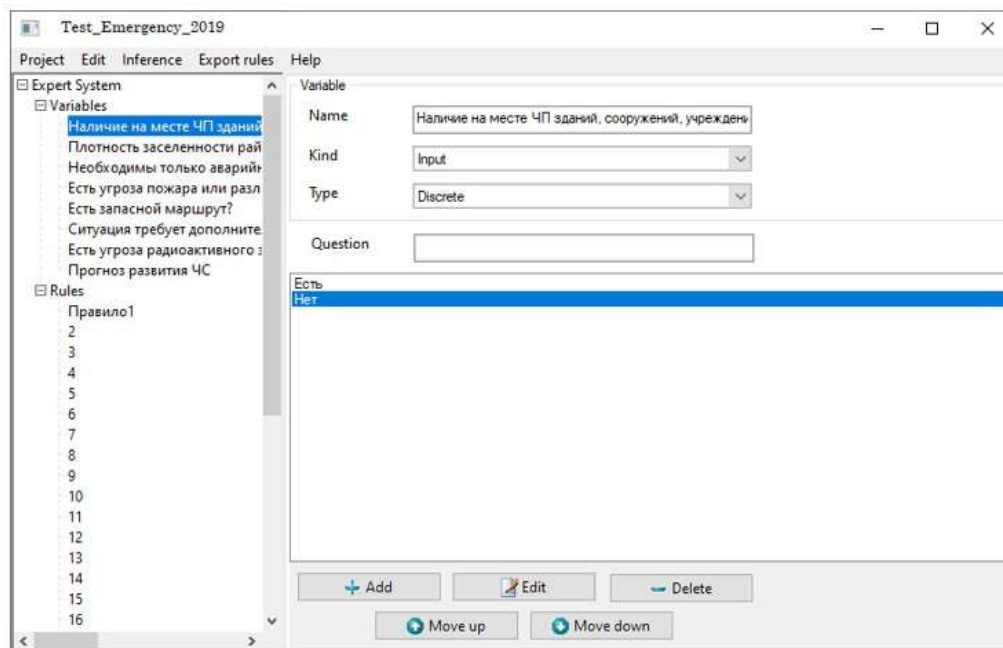


Рисунок 3 – Пример редактирования базы знаний СППР

В результате работы главного модуля СППР автоматически формируется граф (верхняя часть окна программы, рисунок 4) решения для тех вариантов, которые выбрал эксперт. В нижней части окна ЛПР может ознакомиться с выводом, который генерирует СППР (рисунок 4).

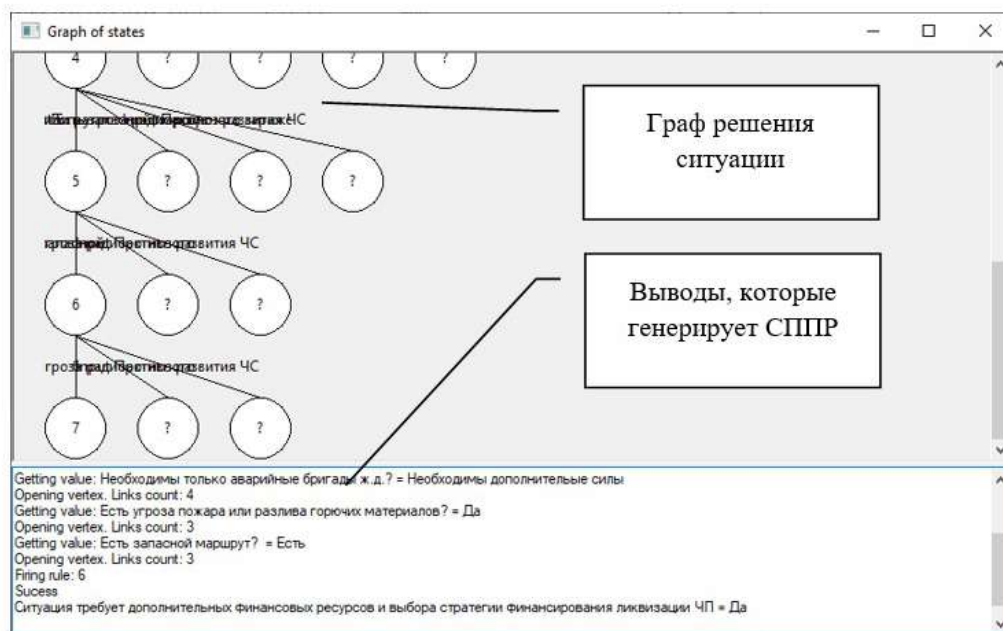


Рисунок 4 – Граф решения и вывод, сгенерированный СППР в ходе обработки ответов эксперта



Так, например, для ситуации, которая возникла в ходе оценки ситуации на ЖДТ. СППР, выдала решение, в соответствии с которым – «Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Да» (рисунок 5).

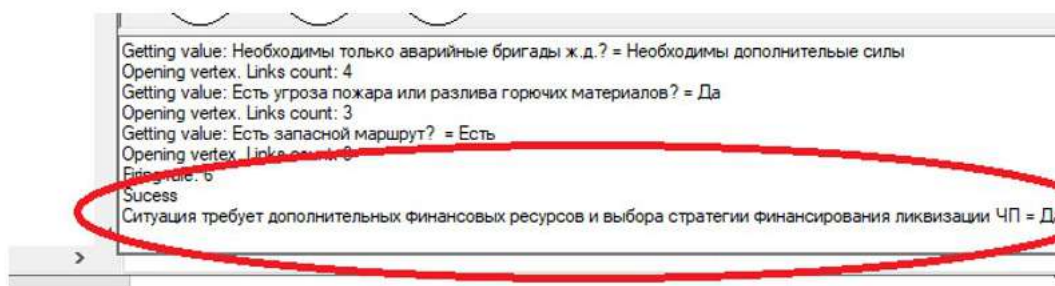


Рисунок 5 – Пример вывода, требующего задействования модуля для выбора рациональной финансовой стратегии ликвидации последствий ЧС

По сути, полученные графы позволяют обосновано выносить решение, например, вида: «Если необходимо спасение людей, то приоритет основной цели спасение равен 1». «Если необходимо предотвратить взрыв, например, опрокинутой цистерны, а в спасении людей нет необходимости, то приоритет основной цели предотвращения взрыва равен 1». «Если не нужно предотвращать взрыв и спасать людей, а имеющихся сил и средств достаточно для локализации и ликвидации локального пожара, то приоритет основной цели ликвидация горения цистерны равен 1». «Если не нужно предотвращать взрыв и спасать людей, сил и средств недостаточно для локализации и ликвидации пожара, то приоритет основной цели защита объектов инфраструктуры равен 1». «Если имеющихся средств недостаточно, то руководитель стороны ликвидации ЧС на месте может принять решение о запросе дополнительных средств и финансовых ресурсов для ликвидации последствий ЧС».

Онтология или граф решения причинно-следственных связей представляет собой неизменную часть знания о зависимостях, которые имеют место в процессе развития оперативной обстановки при ликвидации ТГА или ЧС на ЖДТ. Структура знания для всех причинно-следственных связей моделей во многом сходна. В базе знаний СППР используется синтаксис и семантика языка, пример формального описания фрагмента БЗ СППР показан в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент БЗ СППР

№ правила	Правило
1 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Есть) AND (Плотность заселенности района ЧС = Высокая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Достаточно только ремонтных бригад) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Да) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Да)

2 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Нет) AND (Плотность заселенности района ЧС = Высокая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Достаточно только ремонтных бригад) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Да) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Нет)
3 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Есть) AND (Плотность заселенности района ЧС = Низкая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Достаточно только ремонтных бригад) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Да) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Да)
4 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Нет) AND (Плотность заселенности района ЧС = Низкая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Достаточно только ремонтных бригад) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Да) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Да)
5 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Есть) AND (Плотность заселенности района ЧС = Высокая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Необходимы дополнительные силы) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Да) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Да)
6 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Нет) AND (Плотность заселенности района ЧС = Высокая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Необходимы дополнительные силы) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Да) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Да)
7 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Есть) AND (Плотность заселенности района ЧС = Низкая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Необходимы дополнительные силы) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Да) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Да)
8 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Нет) AND (Плотность заселенности района ЧС =

	Низкая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Необходимы дополнительные силы) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Да) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Да)
9 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Есть) AND (Плотность заселенности района ЧС = Высокая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Достаточно только ремонтных бригад) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Нет) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Нет)
10 для БЗ	IF (Наличие на месте ЧП зданий, сооружений, учреждений с повышенным уровнем опасности? = Нет) AND (Плотность заселенности района ЧС = Высокая) AND (Необходимы только аварийные бригады ж.д.? = Достаточно только ремонтных бригад) AND (Есть угроза пожара или разлива горючих материалов? = Нет) AND (Есть запасной маршрут? = Есть) THEN (Ситуация требует дополнительных финансовых ресурсов и выбора стратегии финансирования ликвидации ЧП = Нет)

В дальнейшем для формирования БЗ и обучения СППР были использованы стандартные библиотеки для работы с искусственными нейронными сетями, что делает процесс формирования БЗ более быстрым и корректным.

В результате анализа существующих многокритериальных методов поддержки принятия решений, в процессе разработки методов поддержки принятия решений следует обязательно учесть степень несопоставимости сравниваемых альтернатив. Это позволит использовать информацию о виде и параметрах вероятностного распределения, по которым зашумлены значения элементов матриц парных сравнений.

В практике проектирования СППР широко используется формальный аппарат метода анализа иерархий, который позволяет находить веса альтернатив при принятии решений. Однако специфика решения каждой отдельной подзадачи должна решаться с использованием собственных моделей и с применением собственных методов. В частности, для такой задачи как выбор рациональной стратегии при распределении финансовых ресурсов ситуационный центр (СЦ) по ликвидации ЧС.

Работа второго модуля, который построен на моделях, описанных во втором разделе диссертации, начинается с запуска главного окна программы СППР DSS Emergency (рисунок 6), в котором необходимо задать альтернативы сил, привлекаемых для ликвидации ЧС (уровень 3, рисунок 6).

Данный модуль спроектирован на основе применения метода Т. Саати.

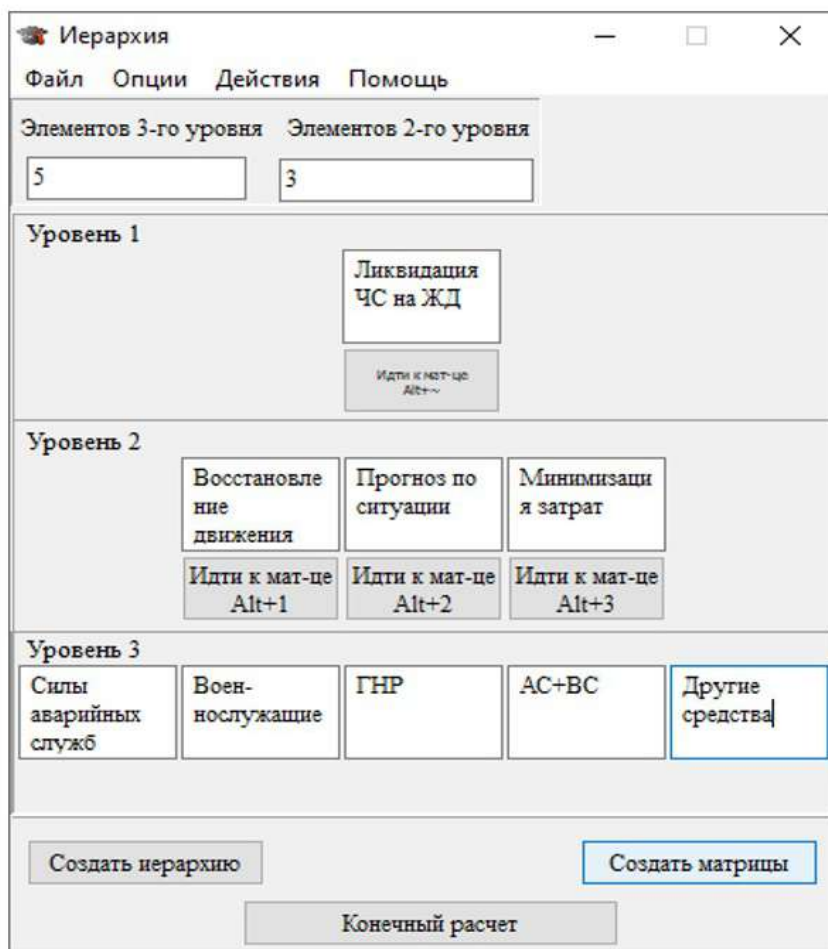


Рисунок 6 – Окно программного продукта, в котором перечислены возможные силы, привлекаемые для ликвидации ЧС

Принимаем, что во взаимодействии участвуют две стороны. Первая сторона – это ситуационный центр по ликвидации ЧС (СЦЛЧС). Например, это может быть руководитель СЦЛЧС, который принимает решение. Тогда вторая сторона – это ликвидаторы в зоне чрезвычайных ситуаций (ЛЗЧС), то есть непосредственно ликвидаторы ЧС на ЖДТ в зоне проведения соответствующих работ.

В контексте решаемой задачи было принято, что состояния каждой из сторон характеризуются материально-финансовыми ресурсами [7].

В ходе предварительного анализа, если возникает задача выбора стратегий финансирования ликвидации ЧС, предполагается, что руководитель СЦЛЧС может принимать решения по выделению финансовых и материальных ресурсов. К таковым ресурсам можно отнести, например, расходы связанные с оплатой работы специальной или строительной техники, которая участвует в ликвидации последствий ЧС и другое.

В зоне ЧС ЛПР может выделить финансово-материальные ресурсы (ФМР), расходуя их на привлечение соответствующих специалистов или техники для ликвидации последствий.

С учетом выкладок, в СППР присутствует модуль, которая отображает рациональную стратегию распределения финансовых ресурсов, выделяемых СЦ на ликвидацию последствий аварии на месте.

Далее ЛПР и использующее для поддержки принятия решения, разработанную СППР, должно заполнить соответствующие матрицы (рисунок 7).

Разработанный модуль позволяет учитывать степень несопоставимости сравниваемых альтернатив при принятии решений в ходе ликвидации ЧС. Эти модификации отличаются между собой зависимостью или независимостью искажений идеальных значений элементов эмпирической матрицы парных сравнений от ее размерности.

Поскольку в рамках диссертационного исследования акцент делался на постановку задачи о финансировании СЦ по ликвидации последствий ЧС или ТГА на ЛПР, то рассмотрим более детально процедуру заполнения матрицы, в которой соответственно, ЛПР получает поддержку решения по ходу принятия решения, именно в контексте данной задачи (рисунок 8).

Для наглядности, полученные результаты можно визуализировать, например, в форме круговой или столбчатой диаграммы (рисунок 9).

По результатам статистических исследований в ходе вычислительных экспериментов (рисунки 8, 9) доказана эффективность предложенных моделей выбора рациональных решений со взвешенными составляющими функционала финансовых стратегий СЦ. Использование разработанных модулей позволяет получить более точные значения весов сравниваемых альтернатив и критериев, которые задаются ЛПР.

Кроме того, в ходе использования СППР можно дополнительно определять стандартные отклонения от математического ожидания убытков, которые могут возникнуть при выборе нерациональных финансовых стратегий сторон. Следовательно, в процессе анализа суммы абсолютных величин математических ожиданий и стандартных отклонений, получим величину ФМР, которая гарантирует (с некоторой вероятностью) поддержание ситуации в зоне ликвидации ЧС на ЖДТ на положительном финансовом уровне при применении первой стороной оптимальной стратегии. Найденная ФМР и будет основной рекомендацией руководителю, который занимается вопросами ликвидации ЧС на ЖДТ [8].

Приведем также результаты, которые иллюстрируют траектории финансовых ресурсов сторон, участвующих в оценке финансовых потребностей, которые необходимо задействовать для ликвидации последствий ЧС или ТГА на ЖДТ.

[illegible]

Рисунок 7 – Матрицы для заполнения экспертом или ЛПР



Рисунок 8 – Матрица СППР, в которой ЛПР получает поддержку решения по ходу принятия решения, именно в контексте задачи об оптимизации финансирования СЦ, который занимается ликвидацией ЧС или ТГА

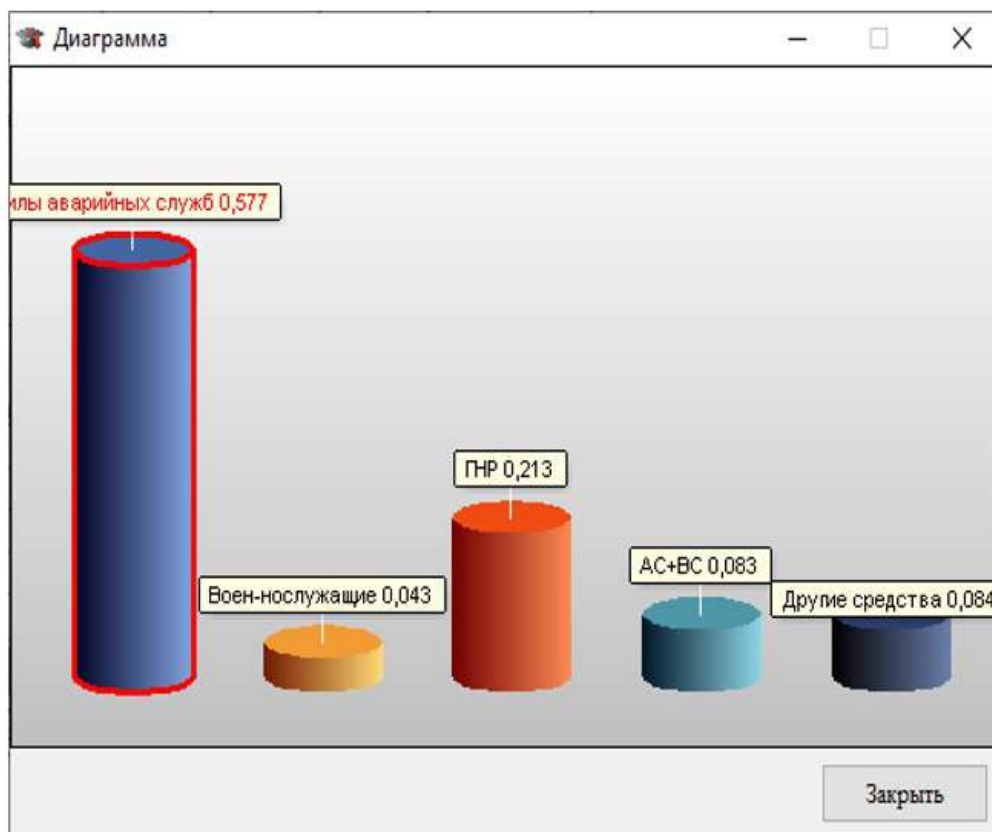
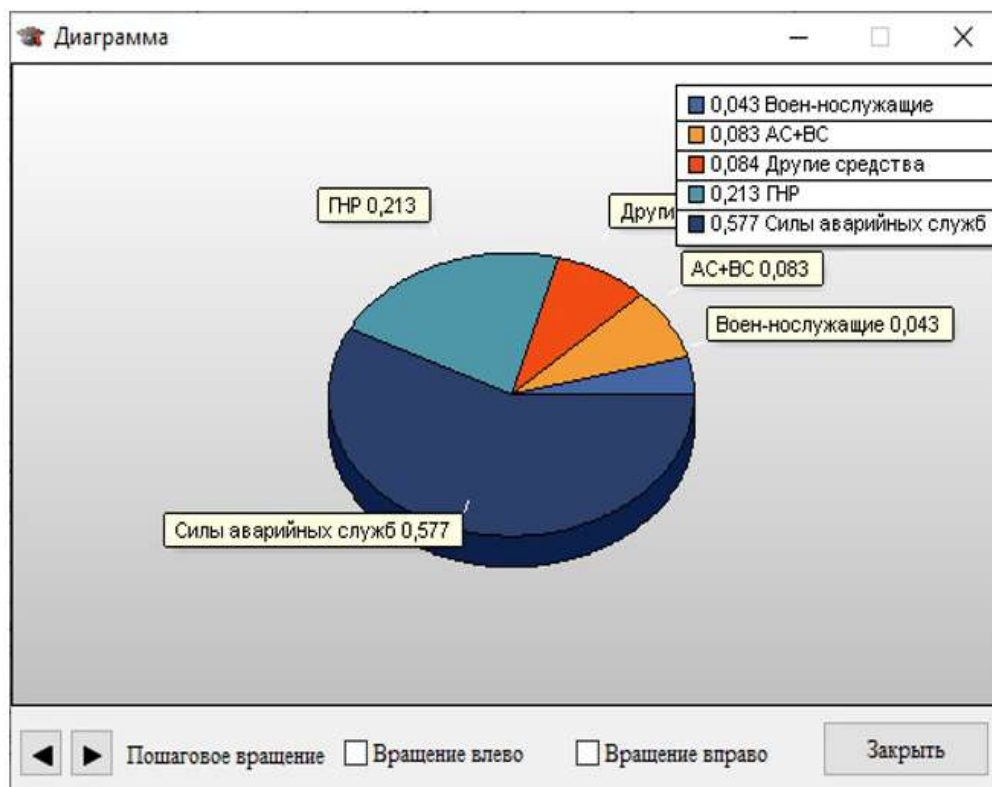


Рисунок 9 – Круговая и столбчатая диаграмма, полученные в ходе выбора стратегий финансирования ликвидации ЧС



На рисунках 10-12 показаны графики, полученные в ходе применения второго модуля СППР, который предназначен для поиска рациональных финансовых стратегий сторон (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты вычислительных экспериментов в модуле DSS Emergency. Точки рассматриваются в трехмерном пространстве  $(t, x, y)$

Номер вычислительного эксперимента	Рассчитанные в СППР значения для точек, характеризующих рациональную финансовую стратегию взаимодействия СЦЛЧС и ЛЗЧС
№1	$(0, x(0), y(0)) = (0, 3.2, 6.5), (1, x(1), y(1)) = (1, 3.6, 5.5), (3, x(3), y(3)) = (3, 4.1, 5.0), (5, x(5), y(5)) = (5, 4.6, 4.0), (7, x(7), y(7)) = (7, 5.2, 3.0).$
№2	$(0, x(0), y(0)) = (0, 5.1, 3.0), (1, x(1), y(1)) = (1, 4.14, 4.0), (3, x(3), y(3)) = (3, 3.12, 5.0), (5, x(5), y(5)) = (5, 2.14, 6.0), (7, x(7), y(7)) = (7, 1.12, 8.0).$
№3	$(0, 5, 75.0), (1, x(1), y(1)) = (1, 4.11, 48.0), (3, x(3), y(3)) = (3, 3.12, 27.0), (5, x(5), y(5)) = (5, 2.11, 12.0), (7, x(7), y(7)) = (7, 1.11, 3.0).$

Рисунок 10 иллюстрирует ситуацию, в которой число шагов во взаимодействии больше одного шага и начальные финансовые ресурсы игроков (как СЦЛЧС, так и ЛЗЧС) дают им возможность иметь оптимальные чистые стратегии. При этом, первый игрок (сторона СЦЛЧС) имеет возможность достичь своей цели, то есть сохранить свои ресурсы на приемлемом уровне.

Рисунок 11 соответствует ситуации, которая симметрична ситуации, приведенной на рисунке 10.

Рисунок 12 соответствует ситуации, при которой обе стороны поддерживают баланс во взаимодействии на всем временном промежутке. То есть, обе стороны сохраняют свои финансовые ресурсы, направленные на ликвидацию ЧС на ЖДТ на приемлемом уровне.

Полученные результаты демонстрируют эффективность предложенного подхода. В ходе тестирования программы DSS Emergency установлена корректность полученных результатов.

Рассмотренная процедура взаимодействия СЦЛЧС и ЛЗЧС является процессом прогнозирования результатов оптимизации такого взаимодействия. Естественно, что при этом получаемые с помощью СППР прогнозные данные не всегда могут совпадать с фактическими данными. Отметим, что это является объективной реальностью и от этого невозможно избавиться, поскольку задачи, возникающие перед ЛПР в ходе ликвидации ЧС, многогранны и применение информационных технологий, в частности СППР, лишь позволяют сократить время на принятие решений и повысить их объективность [9, 10].

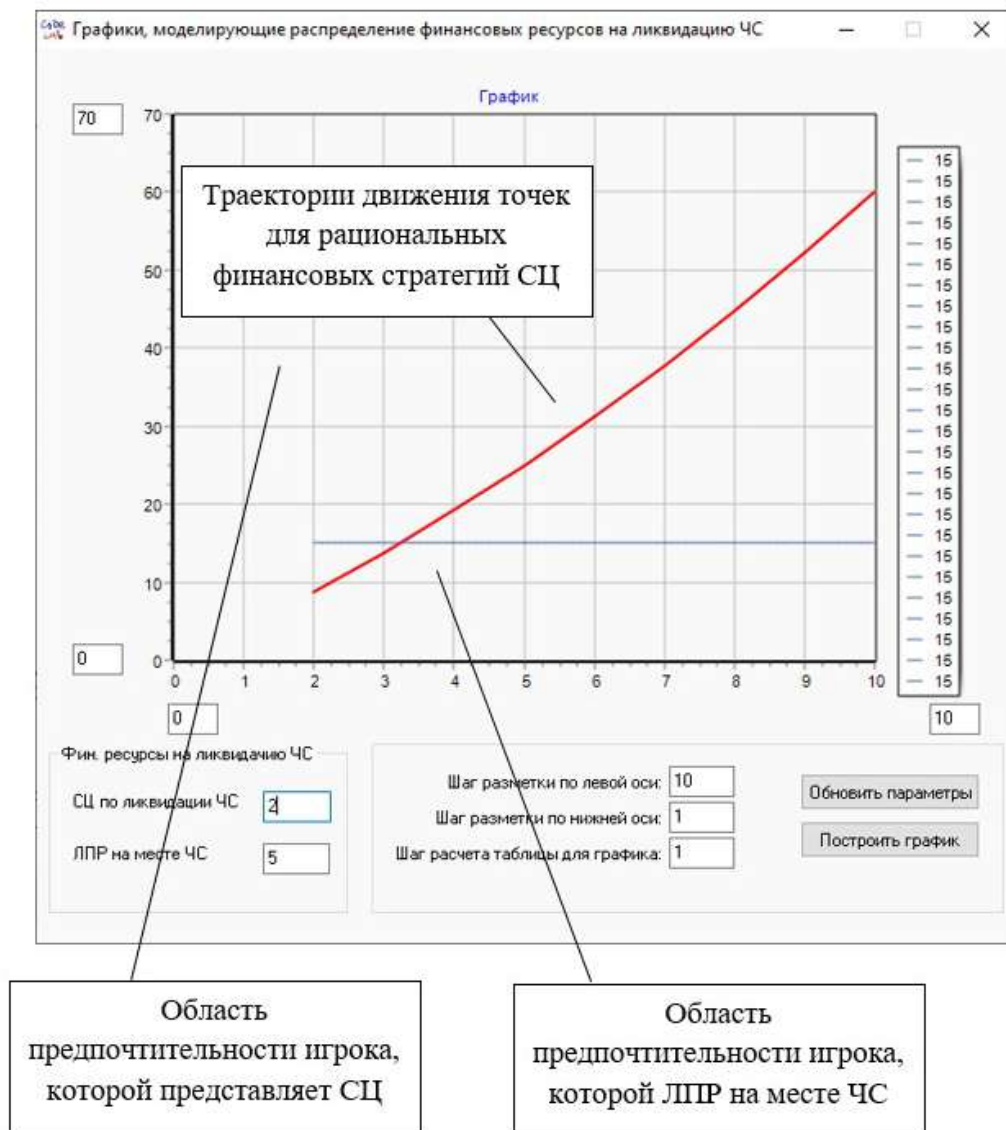


Рисунок 10 – Ситуация, в которой число шагов во взаимодействии больше одного шага и начальные финансовые ресурсы СЦЛЧС и ЛЗЧС дают им возможность иметь оптимальные чистые стратегии

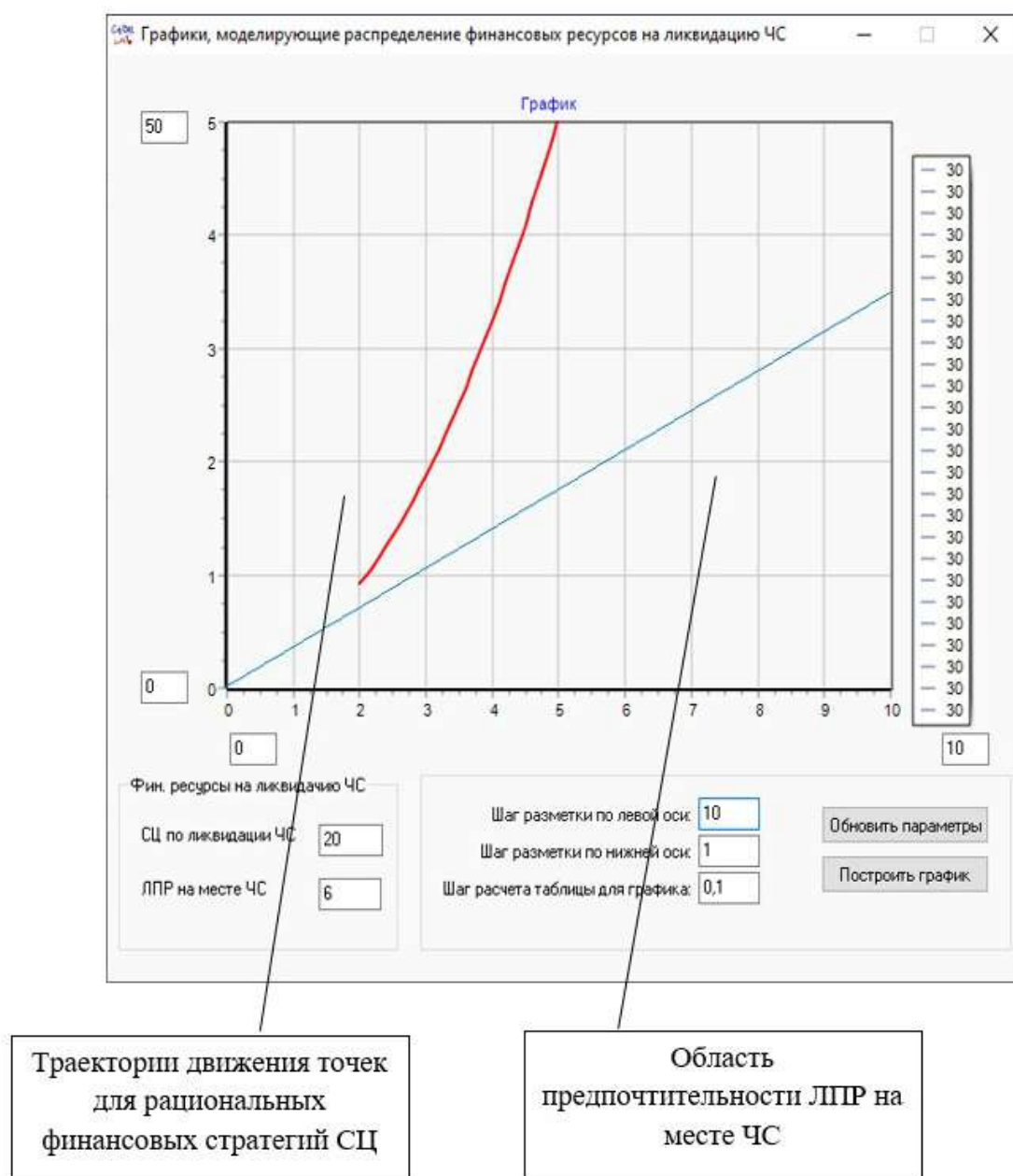


Рисунок 11 – Ситуация, в которой число шагов во взаимодействии больше одного шага и начальные финансовые ресурсы СЦЛЧС и ЛЗЧС не дают им возможность иметь оптимальные чистые стратегии

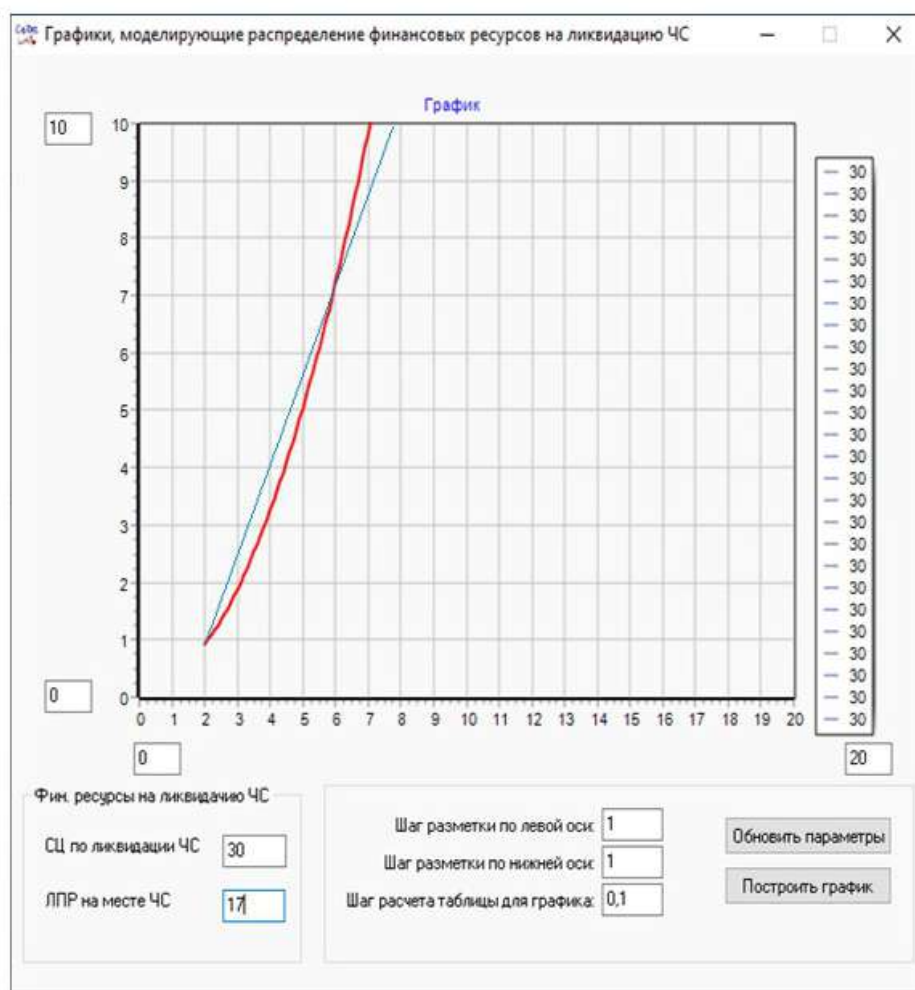


Рисунок 12 – Ситуации, при которой обе стороны поддерживают баланс во взаимодействии на всем временном промежутке

На рисунках 13 и 14 приведены гистограммы, которые сравнивают результаты применения разработанной СППР DSS Emergency по временному критерию в тестовых примерах с решением, принятым ЛПР без автоматизированной компьютерной поддержки и для варианта применения пакета Neural Networks Toolbox в Matlab.

Как видно из приведённых гистограмм, применение СППР DSS Emergency позволяет в среднем на 25-37% сократить время на принятие решения. Также в сравнении с пакетом Neural Networks Toolbox в Matlab примерно на 17-25% сокращается время на разработку БЗ и обучение СППР на основе применения инструментария искусственной нейронной сети (ИНС).

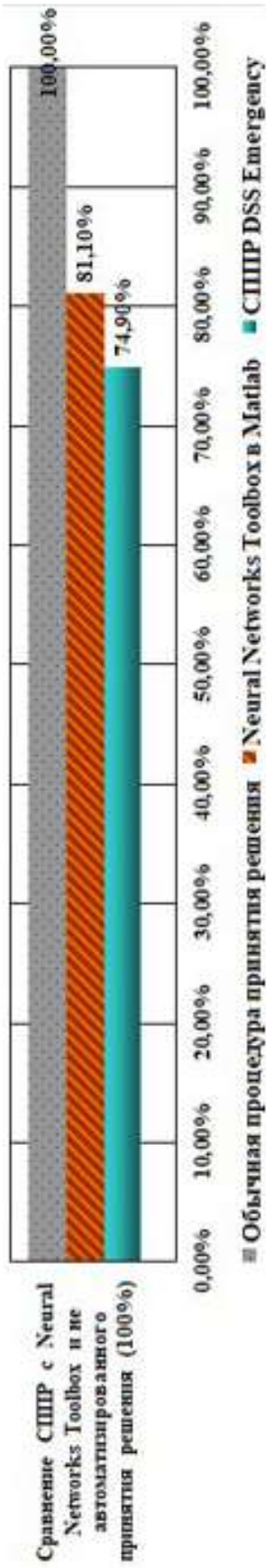


Рисунок 13 – Гистограмма сравнения результатов принятия решений по выбору рациональных финансовых стратегий взаимодействия СЦЛЧС и ЛЗЧС

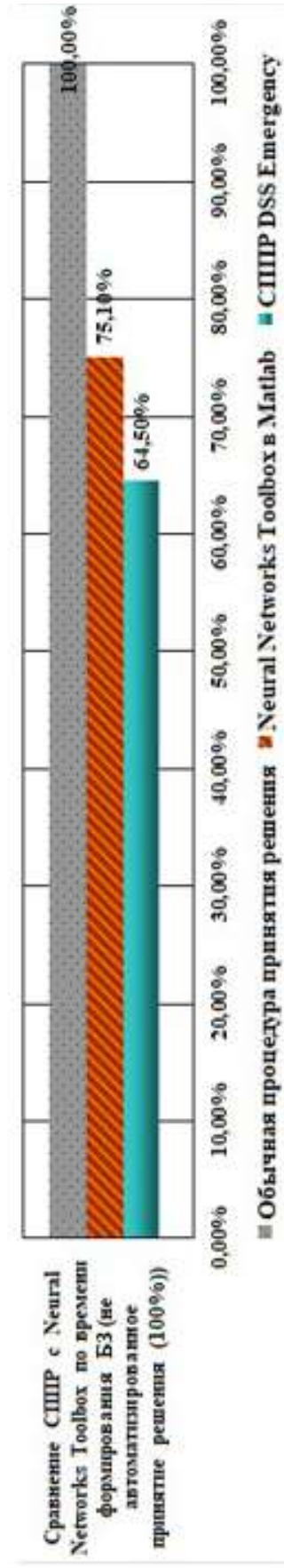


Рисунок 14– Гистограмма сравнения результатов формирования БЗ для принятия решений по выбору рациональных финансовых стратегий взаимодействия СЦЛЧС и ЛЗЧС

### Выводы.

Разработан и протестирован программный продукт – система поддержки принятия решений (DSS Emergency) для выработки рекомендаций в ходе выбора рациональных финансовых стратегий ситуационному центру по ликвидации ЧС и ликвидаторам, работающим непосредственно на месте аварии или в зоне ЧС.

Разработанный программный продукт DSS Emergency позволяет автоматизировать получение прогнозных оценок для различных вариантов распределения ФМР, расходуемых на ликвидацию ЧС и ее последствий.

Модуль формирования базы знаний для программного продукта DSS Emergency базируется на построении выводов, используя правила нечеткого и логических выводов. При этом применялась ИНС, которая использует информацию о параметрах, характеризующих ситуацию в зоне ЧС, для автоматической генерации множества возможных решений.

В ходе тестирования БЗ и ее апробации, выполнено обучение ИНС. Разработанная БЗ и ИНС обеспечила не только решение прикладной задачи по распределению финансовых ресурсов, направленных на ликвидацию ЧС, но также дала возможность выполнять прогнозную оценку последствий принятых решений по выбору конкретных финансовых стратегий ликвидации последствий аварий и ЧС на ЖДТ в условиях структурной и параметрической неопределенности.

В ходе вычислительных экспериментов при тестировании разработанных модулей, входящих в состав СППР, доказано, что программный продукт DSS Emergency дает возможность автоматизировать выработку конкретных рекомендаций по определению величины ФМР, которые являются достаточными для ликвидации последствий ЧС и/или техногенных аварий на ЖДТ на практике.

Реализация программного продукта DSS Emergency выполнена по модульному принципу, что даст возможность дополнять СППР другими модулями. Предложенный программный продукт является достаточно универсальным и может быть расширен за счет функционала других подзадач, например, касающихся распределения технических средств и людских ресурсов, принимающих участие в ликвидации ЧС.

В ходе проведенных вычислительных экспериментов по тестированию разработанной СППР DSS Emergency, установлено, что применение DSS Emergency позволяет в среднем на 25-37% сократить время на принятие решения, а также по сравнению с пакетом Neural Networks Toolbox в Matlab примерно на 17-25% сокращается время на разработку БЗ и обучение СППР на основе применения инструментария ИНС.

### Литература

1. Lakhno V., Akhmetov B., Korchenko A., Alimseitova Z., Grebenuk V. Development of a decision support system based on expert evaluation for the situation center of transport cybersecurity // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. –2018. – Vol. 96, Iss. 14. – P. 4530-4540.
2. Malyukov V.P. Conflict interaction of economic models // Cybernetics. – 1979. – Vol. 15, Iss. 6. – P. 867-875. – DOI: 10.1007/BF01069398.
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации: пер. с польск. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
4. Karacı A. Performance Comparison of Managed C# and Delphi Prism in Visual Studio and Unmanaged Delphi 2009 and C++ Builder 2009 Languages. // International Journal of Computer Applications. – 2011. – №. 26(1). – P. 9-15.
5. Осипов Д. Delphi. Профессиональное программирование. – СПб.: Символ-Плюс, 2006. – 1056 с.
6. Дарахвелидзе П., Марков Е. Программирование в Delphi 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 784 с.

7. Романов И.А. Применение теории предпочтений при анализе инновационных проектов // Перспективы науки и образования. – 2013. – №. 6. – С. 210-214.
8. Верескун В.Д., Цуриков А.Н. Информационно-управляющие системы в научных исследованиях и на производстве: Учебное пособие. – Scientific magazine" Kontsep, 2016.
9. Краковский Ю.М., Домбровский И.А. Вероятностный анализ безубыточности грузовых перевозок на основе метода Монте-Карло // Известия Транссиба. – 2013. – №. 1 (13). – С. 125-130.
10. Хоменко А.П., Елисеев С.В., Ермошенко Ю.В. Системный анализ и математическое моделирование в мехатронике виброзащитных систем. – 2012. – 288 с.

### References

1. Lakhno V., Akhmetov B., Korchenko A., Alimseitova Z., Grebenuk V. Development of a decision support system based on expert evaluation for the situation center of transport cybersecurity // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. –2018. – Vol. 96, Iss. 14. – P. 4530-4540.
2. Malyukov V.P. Conflict interaction of economic models // Cybernetics. – 1979. – Vol. 15, Iss. 6. – P. 867-875. – DOI: 10.1007/BF01069398.
3. Osowski S. Neural networks for information processing: per. s Pol. – М.: Finance and statistics, 2002. – 344 p.
4. Karacı A. Performance Comparison of Managed C# and Delphi Prism in Visual Studio and Unmanaged Delphi 2009 and C++ Builder 2009 Languages. // International Journal of Computer Applications. – 2011. – №. 26(1). – P. 9-15.
5. Osipov D. Delphi. Professional programming. – St. Petersburg: Symbol-Plus, 2006. – 1056 p.
6. Darakhvelidze P., Markov E. Programming in Delphi 7. – St. Petersburg: BHv-Petersburg, 2003 – 784 p.
7. Romanov I.A. Application of the theory of preferences in the analysis of innovative projects // Prospects of science and education. – 2013. – No. 6. – pp. 210-214.
8. Vereskun V.D., Tsurikov A.N. Information and control systems in scientific research and production: Training manual. – Scientific magazine" Kontsep, 2016.
9. Krakovsky Yu.M., Dombrovsky I.A. Probabilistic analysis of break-even cargo transportation based on the Monte Carlo method // News of the Transsib. – 2013. – №. 1 (13). – P. 125-130.
10. Khomenko A.P., Eliseev S.V., Ermoshenko Yu.V. System analysis and mathematical modeling in mechatronics of vibration-proof systems. – 2012. – 288 p.

**АХМЕТОВ Б.С.** – т.ғ.д., профессор (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)

**АБУОВА А.Х.** – PhD докторы (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)

### ТЕМІР ЖОЛ КӨЛІГІНДЕГІ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫ ЖОЮҒА ҚАРЖЫ РЕСУРСТАРЫН АВТОМАТТЫ ТҮРДЕ БӨЛУ ЖӨНІНДЕ ШЕШІМДЕР ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІ

#### Аңдатпа

Бағдарламалық өнім – төтенше жағдайларды жою жөніндегі ахуалдық орталыққа және тікелей апат орнында немесе төтенше жағдайлар аймағында жұмыс істейтін



таратушыларға ұтымды қаржылық стратегияларды таңдау барысында ұсынымдар әзірлеу үшін шешімдер қабылдауды қолдау жүйесі (DSS Emergency) әзірленді және сыналды.

Әзірленген білім базасы мен жасанды нейрондық желі төтенше жағдайларды жоюға бағытталған қаржы ресурстарын бөлу жөніндегі қолданбалы міндетті шешуді ғана емес, сондай-ақ құрылымдық және параметрлік белгісіздік жағдайында теміржол көлігіндегі авариялар мен төтенше жағдайлардың салдарын жоюдың нақты қаржылық стратегияларын таңдау бойынша қабылданған шешімдердің салдарын болжамды бағалауды орындауға мүмкіндік берді.

DSS Төтенше бағдарламалық өнімін енгізу модульдік принцип бойынша жүзеге асырылады, бұл шешім қабылдау жүйесін басқа модульдермен толықтыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған бағдарламалық өнім әмбебап болып табылады және басқа ішкі міндеттердің функционалдығына байланысты кеңейтілуі мүмкін.

**Түйінді сөздер:** теміржол көлігі, төтенше жағдайлар, апаттың салдарын жою, бағдарламалық өнім, қаржылық стратегия, модульдік принцип.

**AKHMETOV B.S. – d.t.s., professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

**ABUOVA A.Kh. – PhD (Almaty, Kazakh university ways of communications)**

## **DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR THE AUTOMATIC ALLOCATION OF FINANCIAL RESOURCES FOR THE ELIMINATION OF EMERGENCIES IN RAILWAY TRANSPORT**

### **Abstract**

A software product, the Decision Support System (DSS Emergency), has been developed and tested to make recommendations during the selection of rational financial strategies to the emergency response center and liquidators working directly at the accident site or in the emergency zone.

The developed knowledge base and artificial neural network provided not only a solution to the applied problem of allocating financial resources aimed at eliminating emergencies, but also made it possible to perform a predictive assessment of the consequences of decisions taken to select specific financial strategies for eliminating the consequences of accidents and emergencies in railway transport in conditions of structural and parametric uncertainty.

The implementation of the DSS Emergency software product is made on a modular basis, which will make it possible to supplement the decision support system with other modules. The proposed software product is quite versatile and can be expanded due to the functionality of other subtasks.

**Keywords:** railway transport, emergencies, emergency response, software product, financial strategies, modular principle.