

УДК 004.891

DOI:10.25729/ESI.2024.35.3.005

Экспертная система поддержки расследования происшествий на железнодорожном транспорте

Подобедова Елизавета Вячеславовна, Жукова Марина Сергеевна,
Аршинский Леонид Вадимович

Иркутский государственный университет путей сообщения,
Россия, Иркутск, *larsh@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрен подход к разработке экспертной системы по анализу происшествий на железнодорожном транспорте. Обсуждаются этапы и особенности разработки базы знаний, возможности инструментальной среды разработки и другие вопросы. Прототип системы разработан для анализа сходов, однако принятая в ней (продукционная) модель знаний позволяет относительно легко расширить систему и на другие обстоятельства происшествий. Система реализована в среде, использующей вывод на основе логик с векторной семантикой, которые позволяют работать как с достоверной, так и с нечёткой, неопределённой и противоречивой информацией.

Ключевые слова: экспертная система, векторная семантика, расследование происшествий, железнодорожный транспорт

Цитирование: Подобедова Е.В. Экспертная система поддержки расследования происшествий на железнодорожном транспорте / Е.В. Подобедова, М.С. Жукова, Л.В. Аршинский // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2024. – № 3(35). – С. 57-72. – DOI: 10.25729/ESI.2024.35.3.005.

Введение. Российские железные дороги – один из важнейших компонентов транспортного комплекса Российской Федерации. Железная дорога оказывает огромное влияние на экономическое благополучие государства, оказывает воздействие на формирование его федерального и регионального бюджетов и также играет важное значение в транспортной логистике. Железная дорога считается главным межрегиональным видом транспорта в пределах экономически освоенной территории страны.

Вопросы эффективности функционирования транспортного комплекса и развития транспортной инфраструктуры играют важную роль в развитии российской экономики по причине обширной территории страны и больших расстояний между центрами производства и центрами потребления [1]. Повышение эффективности может, с одной стороны, привлечь дополнительные транзитные грузопотоки, а с другой – повысить конкурентоспособность российской экономики и потенциал для привлечения дополнительных инвестиций. Одним из препятствий к росту эффективности перевозок являются происшествия на железнодорожном транспорте, которые замедляют его работу и ведут к дополнительным потерям при перевозках. Последствия от происшествий можно ослабить, если повысить качество их расследования и сократить время его проведения.

Повышения качества и сокращения сроков расследования можно добиться привлечением компетентных специалистов и автоматизацией отдельных его этапов [2]. Одним из подходов здесь является технология экспертных систем (ЭС). Подобные системы содержат в себе высокопрофессиональные знания и позволяют принимать решения или, как минимум, выдвигать и проверять рабочие версии по соответствующему вопросу [3, 4].

Важным применением ЭС может стать обучение соответствующих специалистов [5, 6].

1. Описание предметной области. Железная дорога в широком смысле – это комплексное предприятие, располагающее всеми техническими средствами, обслуживаемыми специалистами, осуществляющими эксплуатацию этих средств и организующими перевозки пассажиров и грузов [1]. Железная дорога в узком смысле – это дорога с рельсовыми путями, пред-

назначенная для передвижения железнодорожного подвижного состава. Сюда входит оборудованная рельсами полоса земли либо поверхности искусственного сооружения (тоннель, мост, эстакада), которые используются для движения рельсовых транспортных средств.

Железные дороги разделяются на магистральные, промышленные (подъездные пути предприятий и организаций) и городские (метрополитен, трамвай). По числу путей они делятся на одна-, двух- и многопутную. Прибытие подвижного состава на станцию или отправление со станции, контроль его передвижения, составление расписания подвижного состава, регулировка скорости поезда и т.д. требуют большой ответственности целой команды специалистов. Сложность этой системы приводит к тому, что, к сожалению, на железнодорожном транспорте иногда происходят чрезвычайные происшествия. Они обусловлены разными причинами и разделяются (классифицируются) на [7]:

- столкновения поездов или железнодорожного подвижного состава с другими поездами или подвижным составом;
- сходы поездов (на перегоне или железнодорожной станции);
- столкновения с автотракторной техникой;
- происшествия при перевозке опасных грузов;
- развал грузов;
- прием или отправление поезда по неготовому маршруту;
- проезд запрещающего сигнала светофора или предельного столбика;
- приём поезда на занятый путь или отправление на занятый перегон;
- разрушение конструктивных элементов вагона или состава (излом оси, осевой шейки или колеса, излом боковины или надрессорной балки тележки вагона, обрыв хребтовой балки подвижного состава);
- несанкционированное движение по железнодорожным путям транспортного средства или столкновение железнодорожного подвижного состава с транспортным средством вне установленного железнодорожного переезда;
- перевод стрелки под железнодорожным подвижным составом;
- ложное появление на светофоре разрешающего показания сигнала вместо запрещающего или появление более разрешающего показания сигнала вместо показания, требующего продолжения следования поезда с уменьшенной скоростью;
- и т.д.

Одним из наиболее распространённых происшествий является сход [8, 9]. Сходом железнодорожного подвижного состава называется событие, при котором хотя бы одно колесо сошло с головки рельса и для его постановки на рельс требуется применение подъемных средств и (или) приспособлений [10]. Сходы делятся (классифицируются) на следующие виды [8]:

1. Сход из-за распора колеи. Это уширение колеи от её нормы ($1520\text{мм} +8;-4$). Если колея будет больше, а поезд поедет по установленной скорости равной 60-80 км/ч, то колеса подвижной состав могут сойти на середину пути.

2. Сход из-за выжимания экипажа. Экипаж – это нижняя часть вагона, локомотива, тележки и т.д., т.е. всего, что ниже кузова. Часто выжимание экипажа происходит из-за неправильно сформированного состава, когда груженные вагоны ставят в хвост, а порожние в голову.

3. Сход из-за недопустимого горизонтального поперечного искривления (сдвига) колеи колесами «шальной» тележки при торможении поезда или из-за ее температурного выброса. Этот сход характерен для летнего сезона. Есть стыковой и бесстыковой путь и есть температурные рельсовые зазоры. Допустимая норма рельсовых зазоров 20-22 мм. Если в рельсовом

стыке возник слепой зазор, т.е. нарушились допустимые нормы, происходит выброс рельса; соответственно, идет уширение колеи и дальнейший сход подвижного состава.

4. Сход из-за излома рельса. Излом рельса характерен для низких температур, когда зазор превышает 26-28 мм. В этом случае либо разрывает сам стык, либо рельс в любой его части.

5. Сход из-за накатывания на неприлегающее к рамному рельсу остриё острия стрелочного перевода, подрезанного гребня «шальной» тележки и вползания гребня на рамный рельс и острия. Если острия стрелочного перевода, прилегание которого к рамному рельсу не должно превышать 4 мм, неплотно прилегает к рельсу, то может произойти сход. В холодное время года это может случиться при налипании льда, летом – при попадании грязи, которая вовремя не убирается. Происшествие в основном характерно для т.н. «противошерстного» движения, когда колёса едут на острия.

6. Сходы в кривых из-за избыточного возвышения наружного рельса. Кривая лежит под углом и имеет внутренний и наружный рельс. Если наружный рельс возвышается над внутренним более 75 мм, то может произойти два развития событий: либо колесная пара уйдет в сторону наружного колеса кривой, либо гребень колеса наткнется на головку рельса.

Сход железнодорожного подвижного состава также разделяется на:

1. Сход на перегонах: данный тип схода относят к авариям на железнодорожном транспорте, т.к. заваливается состав на перегоне, перекрываются пути и приходится восстанавливать их, что влечет за собой материальный ущерб. Это наиболее редкие сходы.

2. Сход на станциях: происходит, когда состав выезжает/въезжает на станцию, а также на самой станции, при маневровых работах. В данном случае состав не заваливается, а сходит тележка, которую необходимо затащить. Эти сходы наиболее часто встречаются там, где есть сортировочно-подгоночные парки.

К сходу железнодорожного подвижного состава приводят разные факторы: нарушения технологии загрузки/разгрузки вагона, особенности маршрута, несвоевременный перевод стрелки, сейсмические события и др. Но основные факторы, влияющие на сход, – это состояние пути и технические параметры вагона [9] (иные причины, вроде столкновения поездов, столкновения с автотракторной техникой, теракт, неуправляемое движение и т.д. здесь не рассматриваются, т.к. это отдельные виды происшествий, требующие своего расследования).

2. Экспертная система анализа происшествий на железнодорожном транспорте.

Предназначение предлагаемой ЭС – консультирование по причинам возникновения схода; также она может способствовать повышению квалификации работников железнодорожного транспорта и иных лиц, привлекаемых к расследованию. Главным достоинством ЭС является возможность неограниченного накопления и хранения знаний в системе. В качестве экспертов, при помощи которых будут накапливаться знания в БЗ, выступает ревизорский аппарат, состоящий из ревизоров службы движения, электроснабжения, инфраструктуры, СЦБ и связи, а также ревизора локомотивной бригады. Могут привлекаться и иные лица, имеющие опыт расследований.

Основными функциональными возможностями ЭС являются:

- проверка гипотез о причине возникновения происшествий;
- прогнозирование возможности происшествий на основе имеющихся факторов;
- сохранение опыта специалистов путём занесения его в БЗ.

В связи с тем, что БЗ должна быть расширяемой (это позволит ЭС оставаться открытой для усовершенствования и обновления информации), целесообразно выбрать продукционную модель знаний, главным качеством которой является простота редактирования БЗ.

Функционировать ЭС должна как в режиме консультанта: помогать в поиске причин и факторов возникновения происшествия и формировать рабочие гипотезы, так и в режиме приобретения знания: пополнять свою БЗ за счет новых фактов и правил, полученных от экспертов и из специальной литературы.

3. Проектирование базы знаний. Необходимым компонентом ЭС является БЗ, которая содержит в себе модель предметной области. БЗ должна быть структурирована и специальным образом представлена [11]. Наиболее подходящей формой представления знаний для выбранной предметной области является продукционная, в основе которой лежит конструкция «Если..., то...». При этом левая часть правила продукции (антецедент) здесь может содержать связки И, ИЛИ, НЕ, а также скобки. С точки зрения авторов это облегчает восприятие БЗ и сокращает её объём.

Основным достоинством продукционной модели знаний является простота модификации БЗ, построенной на её основе. Единицы знаний таких БЗ интуитивно понятны, легко дополняются новыми, могут удаляться, переписываться, и все это – не затрагивая других единиц знаний. Важное условие здесь – сохранение непротиворечивости системы знаний. Противоречие может сделать систему неработоспособной в соответствующих ситуациях или ослабит доказательную силу знаний (при правдоподобном выводе). Существуют и другие сложности [12-15]. Однако это не снижает общий интерес к подобным моделям. Вопросы, связанные с поиском и устранением противоречий БЗ в рамках используемой далее семантики достаточно подробно изложены в [16, 17].

Одним из практических способов, с помощью которого в БЗ могут формироваться единицы знаний, взаимосвязи предметной области, является диаграмма Исикавы. Это графический метод отображения и анализа причинно-следственных связей, который позволяет систематизировать причины тех или иных событий в виде специального графического представления, называемого «рыбья кость» [18]. Диаграмма наглядно отражает основные причинно-следственные связи предметной области и легко преобразуется в набор продукций. И диаграммы, и БЗ потом можно дополнять, развивая систему. Их использование здесь позволило визуализировать и систематизировать БЗ, облегчив её наполнение.

Для того, чтобы при помощи диаграммы Исикавы сформировать БЗ, необходимо сгруппировать транспортные происшествия на железной дороге. В [8] причины схода были разбиты на 5 групп, представленных на рисунке 1. Это:

- путь;
- вагоны;
- станция;
- локомотивная бригада;
- электрика.

Эти группы, в свою очередь, разбиваются на подгруппы для более детального анализа ситуации, что способствует наполнению БЗ новыми правилами. Для примера, разобьем на подгруппы группу причин «Путь». На рисунке 2 представлена относительно детализированная диаграмма «Сход состава с рельсов из-за неисправностей пути» [19].

Видно, что группа причин «Путь» разбивается на такие подгруппы, как [20-22]:

- шпалы (рисунок 3);
- изломы рельса (фрагмент ветви представлен на рисунке 4);
- стрелочный перевод и другие.

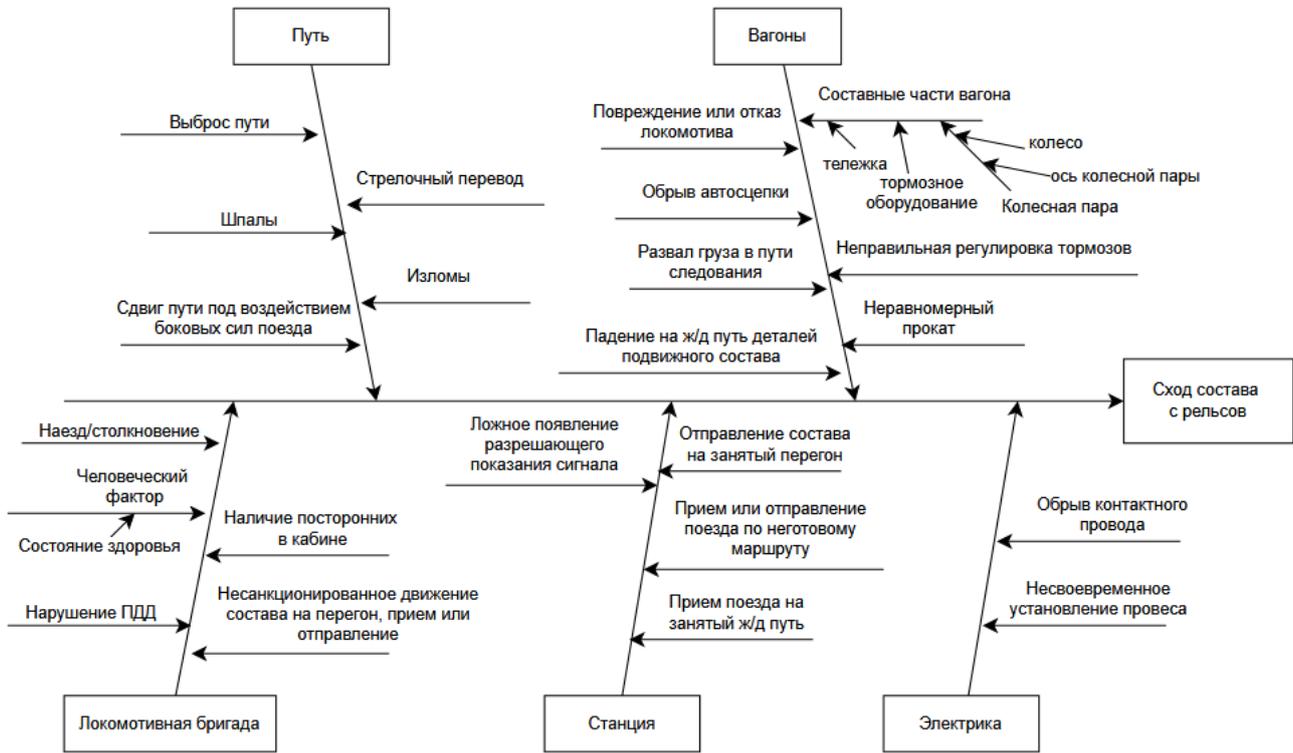


Рис.1. Диаграмма Исикавы «Причины схода состава с рельсов»

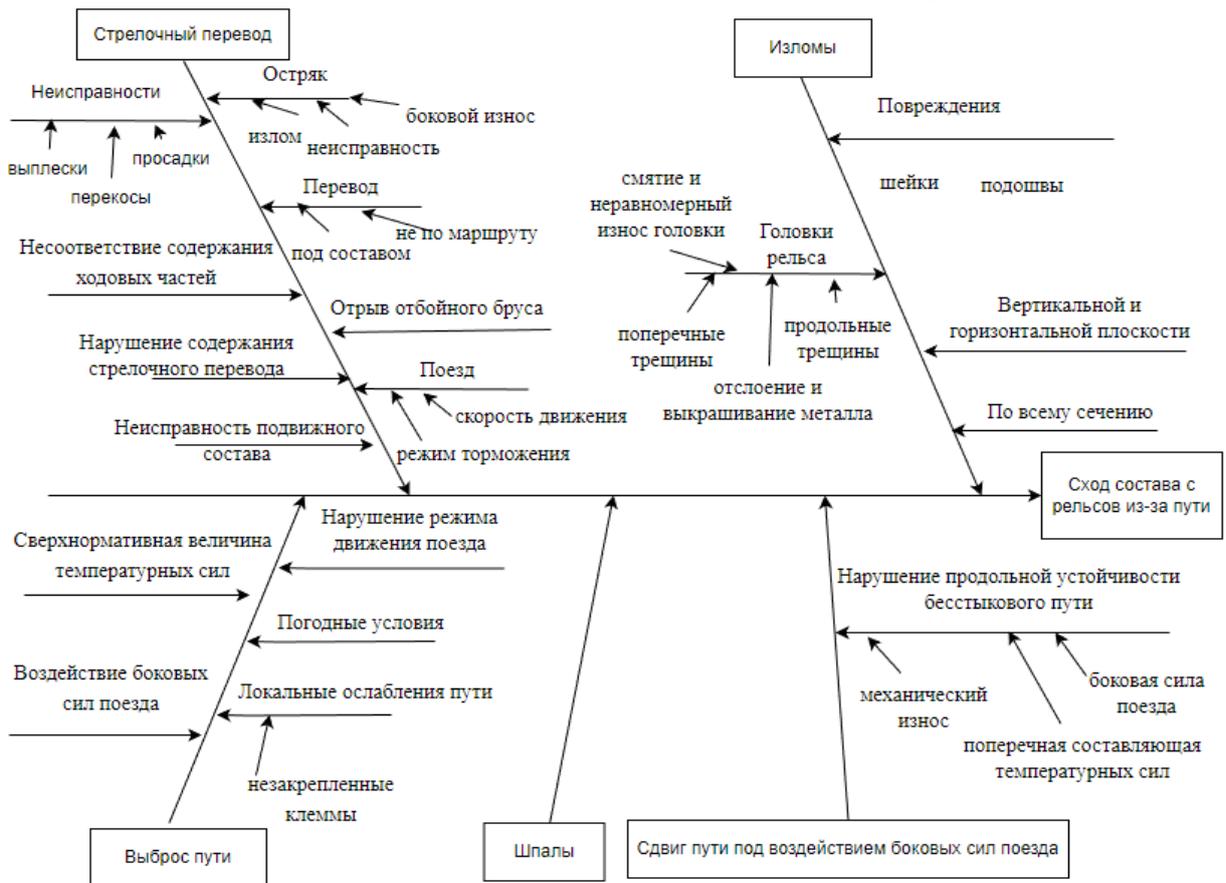


Рис. 2. Диаграмма Исикавы «Сход состава с рельсов из-за пути»

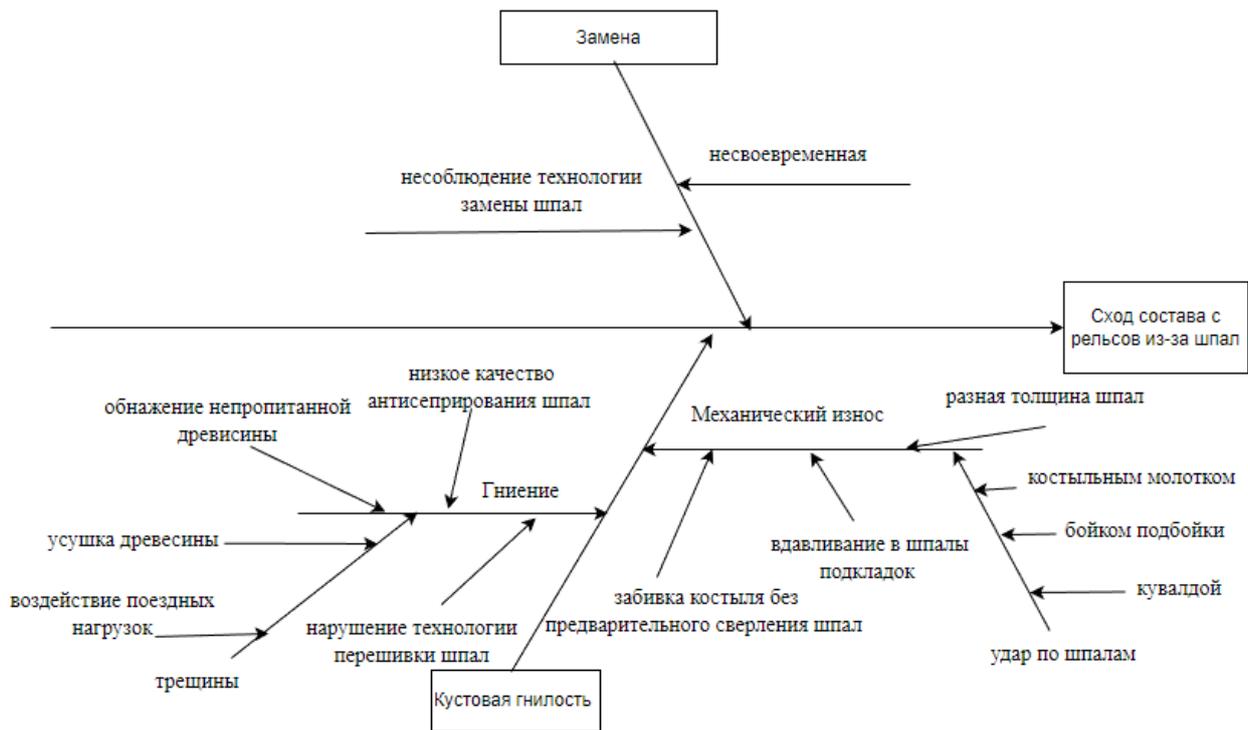


Рис. 3. Диаграмма Исикавы «Сход состава с рельсов из-за шпал»

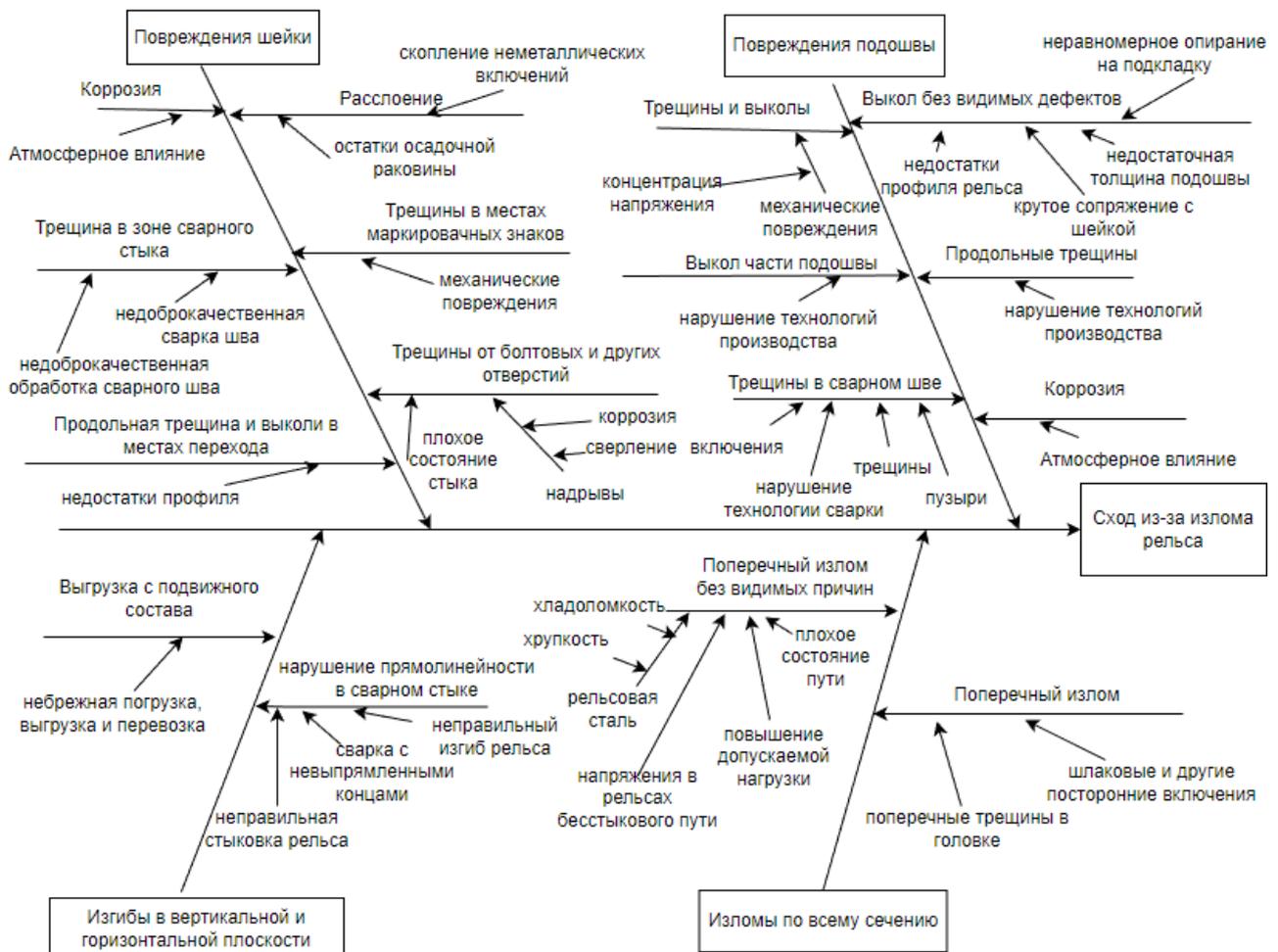


Рис. 4. Диаграмма Исикавы «Сход из-за излома рельса»

Аналогичным образом детализируются также такие причины, как «Сход состава с рельсов из-за неисправностей вагона», «Сход по вине локомотивной бригады», и так далее [19, 23, 24]. Например, группа причин «Вагоны» разбивается на такие подгруппы, как [25-29]:

- колесная пара;
- колесо;
- ось колесной пары;
- тележка вагона;
- кузов или рама полувагона;
- тормозное оборудование.

Источниками знаний для построения диаграмм выступают эксперты и документы. Например, для вагонов это РД 32 ЦВ 062-99 «Типовой технологический процесс работы пункта технической передачи вагонов в составе ПТО станции и контроля за сохранностью вагонного парка» [30] и 808-2017 ПКБ ЦВ «Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (Инструкция осмотрику вагонов)» [31]. В этих документах описаны организация работ по контролю за сохранностью вагонов предприятия, правила технического обслуживания вагонов, перечень неисправностей элементов вагона, а также приведены показатели контролируемых величин элементов вагона, показывающих, в каких пределах допустимы дефекты элементов вагона.

Пример диаграммы «Сход из-за колесной пары» представлен на рисунке 5.

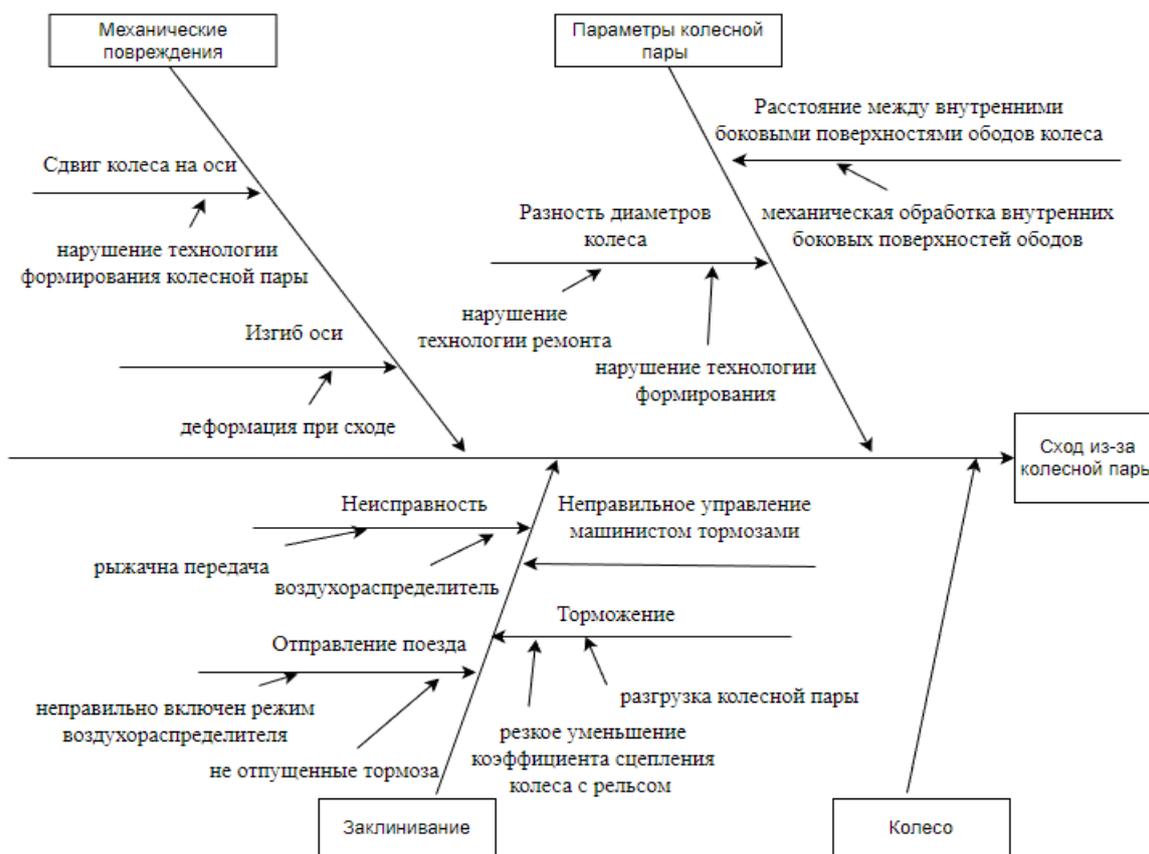


Рис. 5. Диаграмма Исикавы «Сход из-за колесной пары»

Хорошим вариантом для первоначального заполнения БЗ будет разбиение каждой группы причин как минимум на 3-5 подгруппы и формирование диаграммы для каждой подгруппы. Таким образом, получается до 5 групп причин, которые, в свою очередь, разбиваются на 4-6 подгрупп, каждая из которых содержит как минимум 3-4 категории факторов, состоящих из 2-6 факторов схода. В результате получаем минимальное число правил для БЗ, которых

будет достаточно для первоначального функционирования ЭС. Всего при разработке ЭС использовались восемнадцать диаграмм, каждая из которых при необходимости может быть развита и дополнена. Соответственно расширяется и БЗ. На данный момент ЭС содержит 684 факта и 431 правило.

4. Реализация БЗ ЭС. Для разработки прототипа ЭС и его БЗ была выбрана система моделирования правдоподобных рассуждений «Гераклит 2.Х», которая предназначена для разработки и эксплуатации декларативных баз знаний в различных предметных областях [32]. В системе используется продукционная модель знаний. Левая часть продукций (антецедент) может содержать скобочные выражения со связками И, ИЛИ, НЕ. Правая (консеквент) бесскобочная; допускает связки И, НЕ, либо ИЛИ, НЕ (связка ИЛИ по известным причинам в консеквенте нежелательна и в разрабатываемом прототипе не используется, однако инструментальная система такие связки обрабатывает). БЗ в «Гераклит 2.Х» реализована как реляционная база данных, состоящая из набора взаимосвязанных таблиц. Система таблиц включает:

- таблицу фактов (facts);
- таблицу узлов продукций (rulatt);
- таблицу частей ЕСЛИ продукций (rulif), содержащую ссылки на соответствующие факты и узлы продукций;
- таблицу частей ТО продукций (rulthen), содержащую ссылки на соответствующие факты и узлы продукций;
- таблицу частей ИНАЧЕ продукций (rulelse), содержащую ссылки на соответствующие факты и узлы продукций.

В системе реализуется присоединённый вывод: каждый шаг вывода сопровождается расчетом истинности заключения на основе истинностей посылок. Это позволяет, как в диалоге с пользователем, так и в диалоге с экспертом, обрабатывать ситуацию неполной уверенности. Кроме того, в системе используется векторная модель истинности (векторная семантика), обеспечивающая работоспособность машины вывода в условиях неполноты и противоречивости данных: входных фактов и правил. Причём компоненты вектора истинности могут иметь интервальные значения:

$$||a|| = \langle [a_{min}^+, a_{max}^+]; [a_{min}^-, a_{max}^-] \rangle, \quad (1)$$

где: $a_{min}^+, a_{max}^+, a_{min}^-, a_{max}^- \in [0,1]$ (для удобства шкала $[0,1]$ преобразована в целочисленную шкалу $0 \div 100$).

Подобное представление истинности позволяет, в частности, работать со связкой ИЛИ в правой части и выявлять противоречия в БЗ [16, 17, 32]. Частными случаями этой формализации являются строгое (классическое) и нечёткое (fuzzy) представления, что позволяет системе работать и с более привычными семантиками.

Продукции обрабатываются таким образом, чтобы обеспечить накопление истинности для антецедента продукции до того, как соответствующая продукция активизируется. Диалог при этом осуществляется за один проход БЗ (в этом смысле она похожа на миварные ЭС, описанные, к примеру, в [33-35]). Важным условием для этого является отсутствие в БЗ логических кругов.

Вывод в системе может быть пошаговый (гипотезы формируются по мере ответов на вопросы) и фронтальный (гипотезы формируются после ответов на все вопросы). Сама инструментальная система позволяет реализовывать прямой и обратный выводы, но по умолчанию предустановлен прямой пошаговый вывод. Для этого БЗ дополняется продукционными правилами выбора проверяемой гипотезы:

ЕСЛИ Проверяем гипотезу i , **ТО** Проверяемая гипотеза i .

Как следует из рисунка 1, гипотез здесь пять:

1. Возможная причина схода – путь (рисунки 2-4 и рисунок 6).
2. Возможная причина схода – вагоны.
3. Возможная причина схода – локомотивная бригада.
4. Возможная причина схода – станция.
5. Возможная причина схода – электрика.

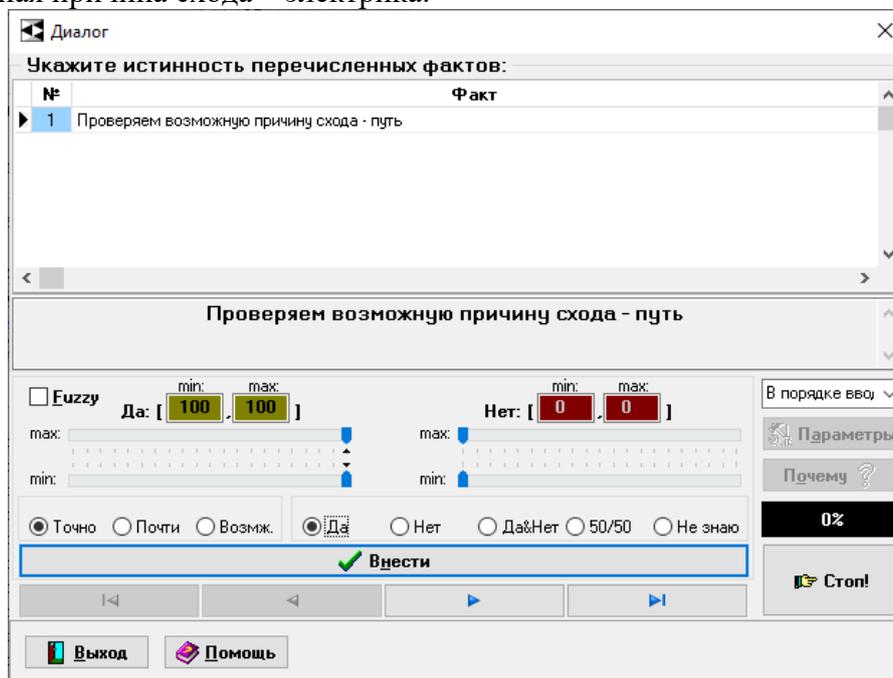


Рис. 6. Первоначальный вопрос для рассмотрения группы вопросов

Внутри каждой гипотезы факты группируются в ветви. К примеру, гипотеза «Путь» состоит из ветвей (рисунок 2):

1. Стрелочный перевод.
2. Изломы.
3. Выброс пути.
4. Шпалы.
5. Сдвиг пути под воздействием боковых сил поезда.

Пример начала диалога приведён на рисунке 6.

По каждой из гипотез также можно проверять не все ветви, а лишь те, которые требуют внимания. Достигается это с помощью правил вида:

ЕСЛИ Проверяемая гипотеза *i* **И** Проверяем ветвь *ij*, **ТО** Проверяемая ветвь *ij*.

Точно так же обрабатываются и все под-ветви, если они имеются. На нижнем уровне находятся правила вида:

ЕСЛИ Проверяемая ветвь *ij...k* **И** (Признак1 **ИЛИ** ... **ИЛИ** ПризнакN), **ТО** Результат.

Например, как в данном случае:

ЕСЛИ

Проверяем состояние стрелочного перевода
.И.(На стрелочном переводе наблюдаются выплески
.ИЛИ.На стрелочном переводе наблюдаются перекосы
.ИЛИ.На стрелочном переводе наблюдаются просадки)

ТО

Неисправен стрелочный перевод <[100,100];[0,0]>

Признаки здесь – это инструментально проверяемые обстоятельства схода. При необходимости признаки могут участвовать и в правилах верхних уровней.

Результатом диалога выступает гипотеза или любая из её ветвей/под-ветвей в зависимости от организации знаний. В рассматриваемой ЭС итоговыми заключениями выступают ветви (рисунок 7).

Следует обратить внимание, что высказывания, отвечающие невыбранным вариантам (гипотезам, ветвям/подветвям, признакам), в рамках модели (1) имеют интервальные значения истинности $||a|| = \langle [0,0]; [0,0] \rangle$ – «неопределённость» и в выводе не участвуют (как не участвуют в нём высказывания с истинностью $||a|| = \langle [0,0]; [1,1] \rangle$ – «строгая ложь») [32, 36].

Факты и правила в ЭС объединены в вычислительную сеть – двудольный граф – с двумя типами вершин: факты и продукции (гипотезы также рассматриваются как факты, но конечные, не входящие в левую часть ни одного из правил); вывод представляет собой вычисление на этой сети [32]. Это избавляет от необходимости использовать в машине вывода т.н. «рабочую память» для хранения активных фактов и правил и обеспечивает вывод за один проход БЗ (похожий приём используется и в упомянутом миварном подходе к разработке ЭС).

После того как пользователь ответит на все выбранные им вопросы, ЭС выведет полученные результаты (рисунок 7).

Выбор предпочтительной гипотезы осуществляется на основе лексикографического порядка: достоверность-определённость. Остальные показатели являются частью вывода системы и здесь носят вспомогательный характер.

Если выбранная версия не подтверждается, в окне с результатами диалога появляется соответствующее сообщение (рисунок 8). Подсистема объяснений («Почему?») предоставит ход рассуждений, приведших к результату.

Если на каких-то этапах пользователь неуверенно отвечал на вопросы или эксперт был не до конца уверен в тех или иных правилах, а также, возможно, поступали противоречивые сведения, ответ ЭС отразит это обстоятельство (рисунок 9).

Наконец, если эксперт хочет проверить другую гипотезу, рассуждения проводятся для неё аналогичным образом. Кроме того, как говорилось выше, можно проверять сразу несколько возможных гипотез и/или несколько ветвей в их составе; число задаваемых вопросов при этом возрастает.

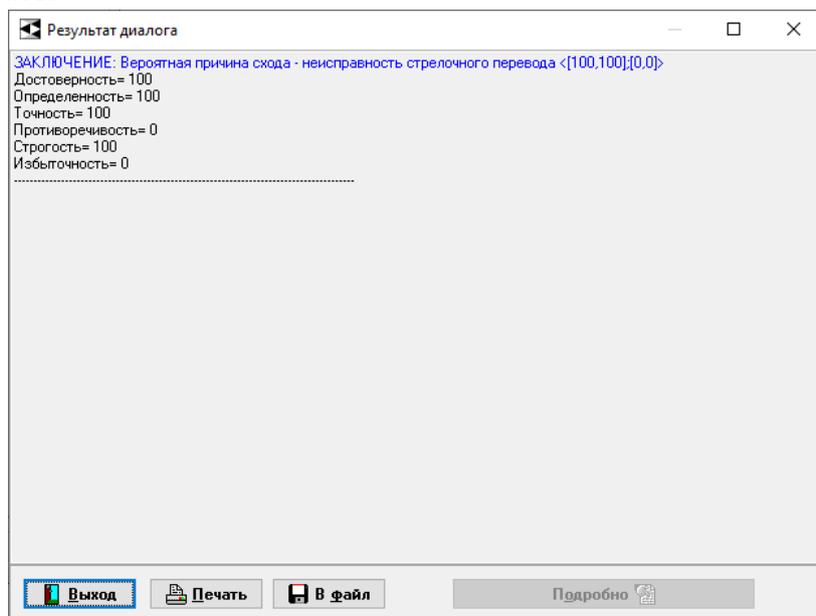


Рис. 7. Заключение системы при положительном исходе диалога по ветке «Возможная причина схода – путь»

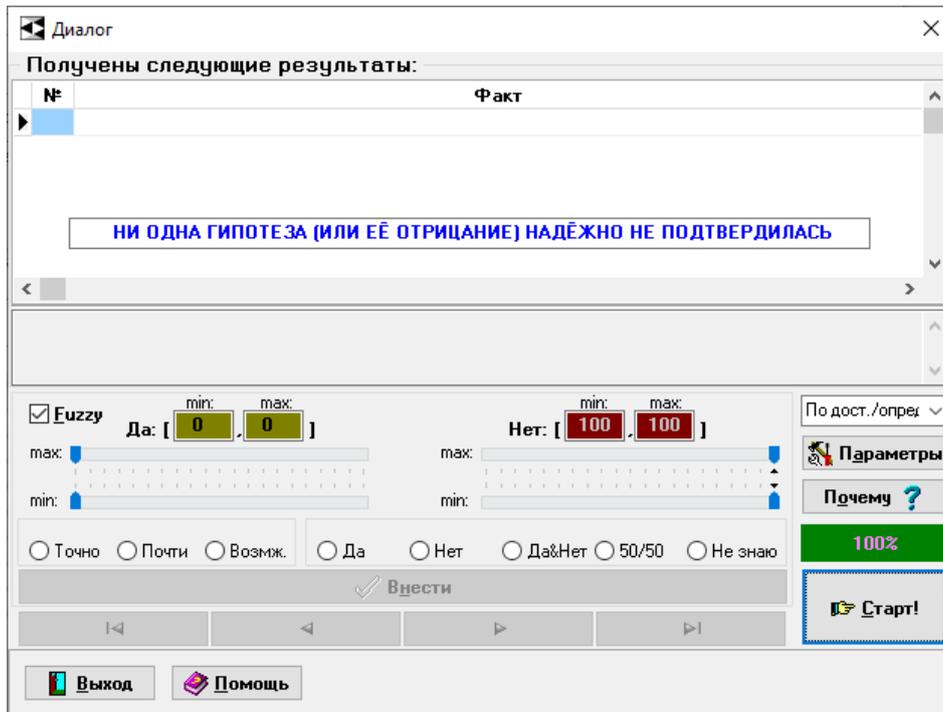


Рис. 8. Заключение системы при отсутствии подтверждающих фактов

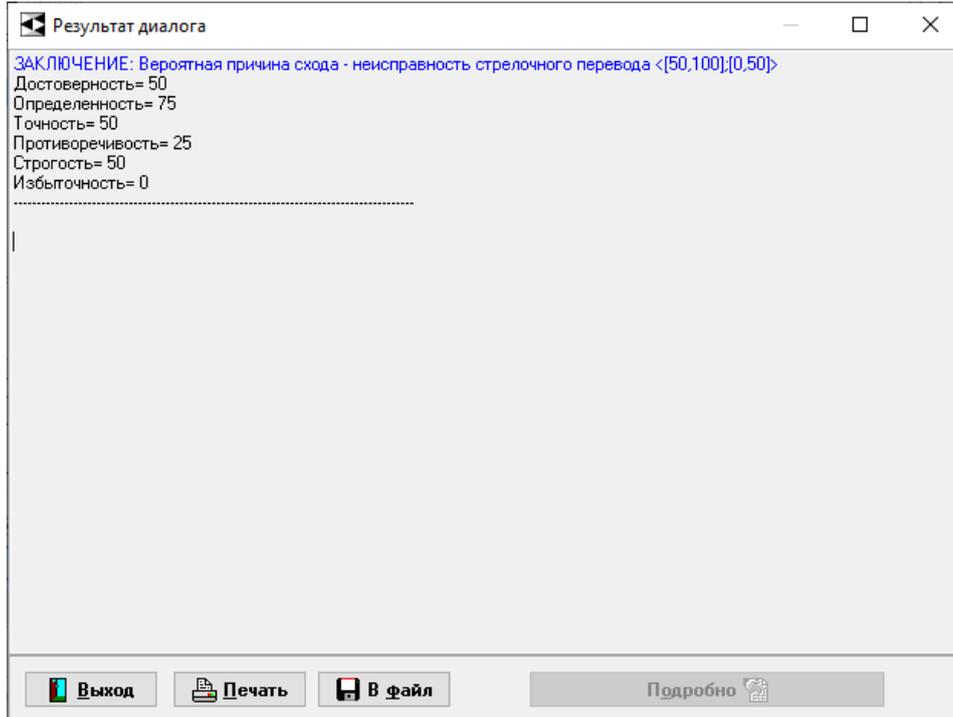


Рис. 9. Пример заключения при неуверенных ответах на вопросы или небесспорных правилах

Заключение. В работе рассмотрен один из подходов к разработке продукционной экспертной системы по анализу происшествий на железнодорожном транспорте. Обсуждаются этапы и особенности разработки её базы знаний и организации диалога. Прототип ЭС разработан только для анализа сходов, но принятая в ней (продукционная) модель знаний позволяет относительно легко расширить БЗ и на другие причины происшествий.

Система реализована в среде Гераклит 2.X, использующей вывод на основе логик с векторной семантикой, которые позволяют работать как с достоверной, так и с нечёткой, неопределённой и противоречивой информацией.

Список источников

1. Архангельская О. Обзор отрасли грузоперевозок в России / О. Архангельская, П. Галова, С. Трофимов, В. Махачев. Эрнст энд Янг – оценка и консультационные услуги, 2020. – 54 с.
2. Распоряжения ОАО «РЖД» от 26.01.2006 № 129р «О разработке порядка организации учета и формирования отчетности по нарушениям безопасности движения в поездной и маневровой работе, допущенным участниками перевозочного процесса на железных дорогах ОАО «РЖД». – URL: <https://jd-doc.ru/2006/yanvar-2006/12437-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-26-01-2006-n-129r/> (дата обращения: 07.02.2024).
3. Подобедова Е.В. Проблема разработки экспертной системы по анализу происшествий на железнодорожном транспорте / Е.В. Подобедова, М.С. Жукова // Молодая наука Сибири, 2022. – № 3(17). – С.184-191.
4. Технология использования экспертных систем. – URL: <http://opengl.org.ru/avtomatizirovannye-informatsionnye-tekhnologii-v-ekonomike/tekhnologiya-ispolzovaniya-ekspertnykh-sistem.html> (дата обращения: 07.02.2024).
5. Аршинский Л.В. Интеллектуальные информационные системы и технологии: учебное пособие / Л.В. Аршинский, М.С. Жукова. – Иркутск: ИрГУПС, 2023. – 128 с.
6. Головицына М. Информационные технологии в экономике. Лекция 11: Интеллектуальные задачи в экономике. Преимущества экспертных систем. – URL: <https://intuit.ru/studies/courses/3735/977/lecture/14689?page=8%23sect37> (дата обращения: 07.02.2024).
7. Приказ Министерства транспорта РФ от 18 декабря 2014 г. N 344 «Об утверждении Положения о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта» с изменениями от 29 июля 2016, 1 июня 2018. – URL: <https://base.garant.ru/70878628/> (дата обращения: 07.02.2024).
8. Нитежук М.С. Особенности информационной поддержки расследования происшествий на железнодорожном транспорте / М.С. Нитежук, Л.В. Аршинский // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами, 2021. – № 4(12). – С. 1-10. – DOI: 10.26731/2658-3704.2021.4(12).1-10.
9. Почему вагоны сходят с рельсов? – URL: <https://delta-trans.ru/news/113-html/>(дата обращения: 07.02.2024)
10. Распоряжение ОАО «РЖД» от 08.05.2015 № 1185р «Об утверждении Положения об организации расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на инфраструктуре ОАО РЖД». – URL: <https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-OAO-RZHD-ot-08.05.2015-N-1185r/> (дата обращения: 07.02.2024).
11. Морозова В.А. Представление знаний в экспертных системах: учебное пособие / сост. В.А. Морозова, В.И. Паутов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 120 с.
12. Логунова Е.А. Обзор подходов к разрешению недостатков продукционной базы знаний системы логического вывода / Е.А. Логунова // Современные наукоемкие технологии, 2015. – № 9. – С. 46-48.
13. Смирнов В.В. Методы и средства верификации баз знаний в интегрированных экспертных системах: специальность 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Смирнов Виталий Валерьевич; Московский инженерно-физический институт. – Москва, 2006. – 25 с.
14. Davis R. Applications of meta-level knowledge to the construction, maintenance, and use of large knowledge bases. Ph D. diss, Dept of computer science, Stanford univ.; 1976.
15. Nguyen T.A., Perkins W.A., Laffey J.T., Pecora D. Knowledge base verification. AI Magazine, 1987, vol. 8, no. 2, pp. 69-75.
16. Аршинский Л.В. Логика с векторной семантикой как средство верификации баз знаний / Л.В. Аршинский, А.А. Ермаков, М.С. Жукова // Онтология проектирования, 2019. – Т. 9. – №4 (34). – С. 510-521. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-510-521.
17. Аршинский Л.В. Неклассические логики в задаче верификации продукционных баз знаний / Л.В. Аршинский, М.С. Жукова // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2020. – № 2(18). – С. 36-51. – DOI: 10.38028/ESI.2020.18.2.003.
18. Метод Исикавы / Е. Сушина. – URL: <https://busyspace.ru/articles/diagramma-isikavy> (дата обращения: 07.02.2024).
19. Почему разбиваются поезда. – URL: <http://eav.ru/publ1.php?publ1=2003-09a09> (дата обращения: 07.02.2024).
20. Инструкция по содержанию деревянных шпал, переводных и мостовых брусьев железных дорог колеи 1520 мм. – URL: <https://epk-rzd.ru/wp-content/uploads/2015/09/CPT-410.pdf> (дата обращения: 07.02.2024).
21. Кусты негодных шпал. – URL: <http://helpiks.org/4-83426.html> (дата обращения: 07.02.2024).

22. Распоряжение ОАО «РЖД» от 23.10.2014 № 2499р «Об утверждении и введении в действие инструкции «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и острodefектных рельсов». – URL: <https://cssrzd.ru/orders/2499.pdf> (дата обращения: 07.02.2024).
23. Распоряжение «Об утверждении Рекомендаций по предотвращению случаев обрывов автосцепных устройств грузовых вагонов» № 2260р от 02 ноября 2010. – URL: https://instructionsrdz.ucoz.ru/_ld/1/158_2260_.pdf (дата обращения: 07.02.2024).
24. С какими неисправностями запрещается выпускать локомотив в эксплуатацию. – URL: <https://helpiks.org/3-56794.html> (дата обращения: 07.02.2024).
25. Классификатор неисправностей вагонных колесных пар и их элементов 1.20.001-2007. – URL: <http://rcit.su/techinfo51.html> (дата обращения: 07.02.2024).
26. Неисправности кузовов вагонов, не допускаемые в эксплуатации. – URL: <https://gdzp.ru/poleznaya-informaciya/kuzova-gruzovyh-vagonov/neispravnosti-kuzovov-vagonov-ne-dopuskaemye-v-ekspluatácii/> (дата обращения: 07.02.2024).
27. Неисправности тормозного оборудования вагонов, с которыми запрещается ставить их в поезда. – URL: http://studopedia.ru/19_176078_neispravnosti-tormoznogo-oborudovaniya-vagonov-s-kotorimi-zapreshchaetsya-stavit-ih-v-poezda.html (дата обращения: 07.02.2024).
28. Основные неисправности и дефекты полувагона. – URL: <https://vagonmaster.com/information/remont-poluvaqonov.> (дата обращения: 07.02.2024).
29. Руководящий документ РД 32 ЦВ 052-2009 «Ремонт тележек грузовых вагонов». – URL: <https://www.regtransservice.ru/wp-content/uploads/2021/02/doc39.pdf> (дата обращения: 07.02.2024).
30. Руководящий документ РД 32 ЦВ 062-99 «Типовой технологический процесс работы пункта технической передачи вагонов в составе ПТО станции и контроля за сохранностью вагонного парка». – URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293835/4293835315.htm> (дата обращения: 07.02.2024).
31. Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (Инструкция осмотрищику вагонов) 808-2017 ПКБ ЦВ. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/495876742> — Дата доступа 03.02.2023
32. Аршинский Л.В. Особенности работы машины вывода системы моделирования правдоподобных рассуждений «Гераклит» / Л.В. Аршинский // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2016. – № 2. – С. 18-29.
33. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. / О.О. Варламов // Миварное информационное пространство. – М.: Радио и связь, 2002. – 288 с. – EDN: RWTCOP.
34. Варламов О.О. Создание Больших Знаний и расширение областей применения миварных технологий логического искусственного интеллекта / О.О. Варламов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 4(32). – С. 30-41. – DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.003
35. Чувиков Д.А. Об экспертной системе «Анализ ДТП», основанной на концепции миварного подхода / Д.А. Чувиков // Проблемы искусственного интеллекта, 2017 – № 2 (5). С. 78-88.
36. Аршинский Л.В. Интервальное оценивание истинности в системах автоматизированных рассуждений на основе VTF-логик / Л.В. Аршинский // Труды IV международной конференции «Идентификация систем и задачи управления». SICPRO'05. Москва 25-28 января 2005. – М.: ИПУ РАН, 2005. – С. 1061-1074.

Подобедова Елизавета Вячеславовна. Магистрант кафедры Информационные системы и защита информации Иркутского государственного университета путей сообщения, Author ID: 1233438, SPIN: 9296-4330, podobedova1998@mail.ru, Россия, Иркутск, Чернышевского, 15.

Жукова Марина Сергеевна. Старший преподаватель кафедры Информационные системы и защита информации Иркутского государственного университета путей сообщения, Author ID: 1007958, SPIN: 6502-4350, marino_@mail.ru, Россия, Иркутск, Чернышевского, 15.

Аршинский Леонид Вадимович. Д.т.н., доцент, профессор кафедры Информационные системы и защита информации Иркутского государственного университета путей сообщения, Author ID: 520252, SPIN: 9286-4084, ORCID: 0000-0001-5135-7921, larsh@mail.ru, Россия, Иркутск, Чернышевского, 15.

Expert system for the support of investigation of accidents in railway transport

Elizaveta V. Podobedova, Marina S. Zhukova, Leonid V. Arshinskiy

Irkutsk state transport university, Irkutsk, Russia, *larsh@mail.ru*

Abstract. The paper considers an approach to the development of an expert system for the analysis of accidents in railway transport. The stages and features of the development of its knowledge base, the possibilities of a tool environment and other issues are discussed. The prototype of the system was developed only for the analysis of derailments, but the knowledge model adopted in it makes it relatively easy to expand the system to other causes of accidents. The system is implemented in an environment using inference based on logic with vector semantics, which allows you to work with both reliable and fuzzy, uncertain and contradictory information.

Keywords: expert system, vector semantics, accident investigation, railway transport

References

1. Arkhangel'skaya O., Galova P., Trofimov S., Makhachev V. Obzor otrasli gruzoperevozok v Rossii [Overview of the cargo transportation industry in Russia 2020]. Ernst end Yang – otsenka i konsul'tatsionnyye uslugi [Ernst & Young - Valuation and advisory services], 2020, 54 p.
2. Rasporyazheniya OAO «RZHD» ot 26.01.2006 № 129r «O razrabotke poryadka organizatsii ucheta i formirovaniya otchetnosti po narusheniyam bezopasnosti dvizheniya v poyezdnoy i manevrovoy rabote, dopushchennym uchastnikami perevozochnogo protsessa na zheleznykh dorogakh OAO «RZHD» [Order of JSC Russian Railways dated January 26, 2006 No. 129r “On the development of a procedure for organizing accounting and reporting on traffic safety violations in train and shunting operations committed by participants in the transportation process on the railways of JSC Russian Railways”], available at: <https://jd-doc.ru/2006/yanvar-2006/12437-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-26-01-2006-n-129r/> (accessed: 02/07/2024).
3. Podobedova E.V., Zhukova M.S. Problema razrabotki ekspertnoy sistemy po analizu proisshestviy na zheleznodorozhnom transporte [The problem of developing an expert system for the analysis of accidents in railway transport]. Molodaya nauka Sibiri [Young science of Siberia], 2022, no. 3(17), pp. 184-191.
4. Tekhnologiya ispol'zovaniya ekspertnykh sistem [Technology of using expert systems], available at: <http://opengl.org.ru/avtomatizirovannyye-informatsionnyye-tekhnologii-v-ekonomike/tekhnologiya-ispolzovaniya-ekspertnykh-sistem.html> (accessed: 02/07/2024).
5. Arshinskiy L.V., Zhukova M.S. Intellektual'nyye informatsionnyye sistemy i tekhnologii: uchebnoye posobiye [Intelligent information systems and technologies: textbook]. Irkutsk, Irkutsk State Transport University, 2023, 128 p.
6. Golovitsyna M. Informatsionnyye tekhnologii v ekonomike. Lektsiya 11: Intellektual'nyye zadachi v ekonomike. Preimushchestva ekspertnykh sistem [Golovitsyna M. Information technologies in economics. Lecture 11: Intellectual tasks in economics. Advantages of expert systems]. Available at: <https://intuit.ru/studies/courses/3735/977/lecture/14689?page=8%23sect37> (accessed: 02/07/2024).
7. Prikaz Ministerstva transporta RF ot 18 dekabrya 2014 g. N 344 «Ob utverzhdenii Polozheniya o klassifikatsii, poryadke rassledovaniya i ucheta transportnykh proisshestviy i inykh sobytiy, svyazannykh s narusheniem pravil bezopasnosti dvizheniya i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo transporta» s izmeneniyami ot 29 iyulya 2016, 1 iyunya 2018 [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated December 18, 2014 N 344 “On approval of the Regulations on the classification, procedure for investigation and recording of transport accidents and other events related to violation of traffic safety rules and operation of railway transport” as amended on July 29, 2016, June 1, 2018]. Available at: <https://base.garant.ru/70878628/> (accessed: 02/07/2024).
8. Nitezhuik M.S., Arshinskiy L.V. Osobennosti informatsionnoy podderzhki rassledovaniya proisshestviy na zheleznodorozhnom transporte [Features of information support for the investigation of accidents in railway transport]. Informatsionnyye tekhnologii i matematicheskoye modelirovaniye v upravlenii slozhnymi sistemami [Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems], 2021, no. 4(12), pp. 1-10, DOI: 10.26731/2658-3704.2021.4(12).1-10.
9. Pochemu vagonny skhodyat s rel'sov? [Why do carriages go off the rails?]. Available at: <https://delta-trans.ru/news/113-html/> (accessed: 02/07/2024)
10. Rasporyazheniye OAO «RZHD» ot 08.05.2015 № 1185r «Ob utverzhdenii Polozheniya ob organizatsii rassledovaniya i ucheta transportnykh proisshestviy i inykh sobytiy, svyazannykh s narusheniem pravil bezopasnosti dvizheniya i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo transporta na infrastrukture OAO RZHD» [Order of JSC Russian Railways dated 05/08/2015 No. 1185r “On approval of the Regulations on the organization of investigation and recording of transport accidents and other events related to violation of traffic safety rules and operation of railway

- transport on the infrastructure of JSC Russian Railways”]. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-OAO-RZHD-ot-08.05.2015-N-1185r/> (accessed: 02/07/2024).
11. Morozova V.A., Pautov V.I. Predstavleniye znaniy v ekspertnykh sistemakh : uchebnoye posobiye [Knowledge representation in expert systems: textbook]. Yekaterinburg, Ural State University, 2017, 120 p.
 12. Logunova Ye.A. Obzor podkhodov k razresheniyu nedostatkov produktsionnoy bazy znaniy sistemy logicheskogo vyvoda [Review of approaches to resolving the shortcomings of the production knowledge base of a logical inference system]. Modern high technologies, 2015, no. 9, pp. 46-48.
 13. Smirnov V.V. Metody i sredstva verifikatsii baz znaniy v integrirovannykh ekspertnykh sistemakh [Methods and means of verifying knowledge bases in integrated expert systems]. Abstract of Ph.D thesis, Moscow, 2006, 25 p.
 14. Davis R. Applications of meta-level knowledge to the construction, maintenance, and use of large knowledge bases. Ph D. diss., Dept of computer science, Stanford univ., 1976.
 15. Nguyen T.A., Perkins W.A., Laffey J.T., Pecora D. Knowledge base verification. AI Magazine, 1987, vol. 8, no. 2, pp. 69-75.
 16. Arshinskiy L.V., Yermakov A.A., Nitezhuik M.S. Logiki s vektornoy semantikoy kak sredstvo verifikatsii baz znaniy [Logic with vector semantic as a means of knowledge bases verification]. Ontologiya dizayna [Ontology of designing], 2019, vol. 9, no. 4 (34), pp. 510-521, DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-510-521.
 17. Arshinskiy L.V., Zhukova M.S. Neklassicheskiye logiki v zadache verifikatsii produktsionnykh baz znaniy [Non-classical logics in rule-based system verification problem]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2020, no. 2(18), pp. 36-51, DOI: 10.38028/ESI.2020.18.2.003.
 18. Sushinina E. Metod Isikavy.[Ishikawa method]. Available at: <https://busyspace.ru/articles/diagramma-isikavy> (accessed: 02/07/2024).
 19. Pochemu razbivayutsya poyezda [Why do trains crash]. Available at: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2003-09a09> (accessed: 02/07/2024).
 20. Instruktsiya po sodержaniyu derevyannykh shpal, perevodnykh i mostovykh brus'yev zheleznykh dorog kolei 1520 mm. [Instructions for the maintenance of wooden sleepers, transfer beams and bridge beams for 1520 mm gauge railways]. Available at: <https://epk-rzd.ru/wp-content/uploads/2015/09/CPT-410.pdf> (accessed: 02/07/2024).
 21. Kusty negodnykh shpal [Unusable sleepers]. Available at: <http://helpiks.org/4-83426.html> (accessed: 02/07/2024).
 22. Rasporyazheniye OAO «RZHD» ot 23.10.2014 № 2499r Ob utverzhenii i vvedenii v deystviye instruktsii "Defekty rel'sov. Klassifikatsiya, katalog i parametry defektnykh i ostrodefektnykh rel'sov" [Order of JSC "Russian Railways" dated October 23, 2014 No. 2499r On the approval and implementation of the instruction "Rail Defects. Classification, catalog and parameters of defective and severely defective rails"]. Available at: <https://cssrd.ru/orders/2499.pdf> (accessed: 02/07/2024).
 23. Rasporyazheniye “Ob utverzhenii Rekomendatsiy po predotvrashcheniyu sluchayev obryvov avtostsepykh ustroystv gruzovykh vagonov” № 2260r ot 02 noyabrya 2010 [Order “On approval of Recommendations for preventing cases of breaks in automatic coupling devices of freight cars” No. 2260r dated November 2, 2010]. Available at: https://instructionsrd.ucoz.ru/_ld/1/158_2260_.pdf (accessed: 02/07/2024).
 24. S kakimi neispravnostyami zapreshchayetsya vypuskat' lokomotiv v ekspluatatsiyu [What defects are prohibited from putting a locomotive into service]. Available at: <https://helpiks.org/3-56794.html> (accessed: 02/07/2024).
 25. Klassifikator neispravnostey vagonnykh kolesnykh par i ikh elementov 1.20.001-2007 [Classifier of faults in carriage wheel sets and their elements 1.20.001-2007]. Available at: <http://rcit.su/techinfo51.html> (accessed: 02/07/2024).
 26. Neispravnosti kuzovov vagonov, ne dopuskayemyye v ekspluatatsii [Malfunctions of car bodies that are not allowed in operation], Available at: <https://gdzp.ru/poleznaya-informaciya/kuzova-gruzovykh-vagonov/neispravnosti-kuzovov-vagonov-ne-dopuskaemye-v-ekspluatatsii/> (accessed: 02/07/2024).
 27. Neispravnosti tormoznogo oborudovaniya vagonov, s kotorymi zapreshchayetsya stavit' ikh v poyezda [Malfunctions of the brake equipment of car with which it is prohibited to place them on trains]. Available at: http://studopedia.ru/19_176078_neispravnosti-tormoznogo-oborudovaniya-vagonov-s-kotorimi-zapreshchaetsya-stavit-ih-v-poezda.html (accessed: 02/07/2024).
 28. Osnovnyye neispravnosti i defekty poluvagona [Main faults and defects of the gondola car]. Available at: <https://vagonmaster.com/information/remont-poluvagonov>. (accessed: 02/07/2024).
 29. Rukovodyashchiy dokument RD 32 TSV 052-2009 “Remont telezhek gruzovykh vagonov” [Guiding document RD 32 TsV 052-2009 “Repair of freight car bogies”]. Available at: <https://www.regtransservice.ru/wp-content/uploads/2021/02/doc39.pdf> (accessed: 02/07/2024).

30. Rukovodyashchiy dokument RD 32 TSV 062-99 “Tipovoy tekhnologicheskiy protsess raboty punkta tekhnicheskoy peredachi vagonov v sostave PTO stantsii i kontrolya za sokhrannost'yu vagonnogo parka” [Guiding document RD 32 TsV 062-99 “Typical technological process of operation of the point of technical transfer of cars as part of the station’s technical maintenance department and monitoring the safety of the car fleet”]. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293835/4293835315.htm> (accessed: 02/07/2024).
31. Instruktsiya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu vagonov v ekspluatatsii (Instruktsiya osmotrshchiku vagonov) 808-2017 PKB TSV [Instructions for the maintenance of wagons in operation (Instructions for wagon inspectors) 808-2017]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/495876742> (accessed: 02/07/2024).
32. Arshinskiy L.V. Osobennosti raboty mashiny vyvoda sistemy modelirovaniya pravdopodobnykh rassuzhdeniy «Geraklit» [Features of the operation of the inference machine of the system for modeling plausible reasoning “Heraclitus”]. *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii* [Information and mathematical technologies in science and management], 2016, no. 2. pp. 18-29.
33. Varlamov O.O. Evolyucionnyye bazy dannyh i znaniy dlya adaptivnogo sinteza intellektual'nyh sistem. Mivarnoe informacionnoe prostranstvo [Evolutionary databases and knowledge for adaptive synthesis of intelligent systems. Mivar information space]. Moscow, Radio i svyaz' [Radio and communication], 2002, 288 p., EDN RWTCOP.
34. Varlamov O.O. Sozdaniye Bol'shikh Znaniy i rasshireniye oblastey primeneniya mivarnykh tekhnologiy logicheskogo iskusstvennogo intellekta [Creating Big Knowledge and expanding the applications of mivar technologies of logical artificial intelligence]. *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii* [Information and mathematical technologies in science and management], 2023, no. 4(32), pp. 30-41, DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.003.
35. Chuvikov D.A. Ob ekspertnoy sisteme «Analiz DTP», osnovannoy na kontseptsii mivarnogo podkhoda [About the expert system “Analysis MVA”, based on the concept of the mivar approach]. *Problems of artificial intelligence*, 2017, no. 2 (5), pp. 78-88.
36. Arshinskiy, L.V. Interval'noe ocenivanie istinnosti v sistemah avtomatizirovannykh rassuzhdenij na osnove VTF-logik [Interval estimation of the truth in the systems of automated reasoning based on the VTF-logics]. *Trudy IV mezhdunarodnoj konferencii «Identifikacija sistem i zadachi upravleniya»*. SICPRO'05. Moskva 25-28 janvarja 2005 [Proc. of IV International conference “System Identification and Control Problems”], Moscow, Institute of Control Sciences of RAS, 2005, pp. 1061-1074.

Podobedova Elizaveta Vyacheslavovna. Master's student of the department information systems and information security of the Irkutsk state transport university, Author ID: 1233438, SPIN: 9296-4330, podobedova1998@mail.ru.

Zhukova Marina Sergeevna. Senior lecturer of the departament information systems and information security of Irkutsk state transport university, Author ID: 1007958, SPIN: 6502-4350, marino_@mail.ru.

Arshinskiy Leonid Vadimovich. Doctor of technical sciences, associate professor, professor of the departament information systems and information security of Irkutsk state transport university, Author ID: 520252, SPIN: 9286-4084, ORCID: 0000-0001-5135-7921, larsh@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 22.02.2024; одобрена после рецензирования 07.05.2024; принята к публикации 08.10.2024.

The article was submitted 02/22/2024; approved after reviewing 05/07/2024; accepted for publication 10/08/2024.