

На правах рукописи



ПАНОВ Борис Васильевич

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ
ПЛАНОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ АВАРИЙ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ОБЪЕКТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (в металлургии)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Череповец – 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Череповецкий государственный университет».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Шабалов Виктор Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Швецов Анатолий Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Щегряев Николай Александрович

Ведущая организация: ЧерМК ОАО «Северсталь»

Защита диссертации состоится 18 декабря 2009 г. в 14 часов на заседа-
нии совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.297.02
при ГОУ ВПО «Череповецкий государственный университет» по адресу:
162600, Вологодская обл., г. Череповец, пр. Луначарского, д. 5, ауд. 208.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Черепо-
вецкий государственный университет».

Автореферат разослан 16 ноября 2009 г.

Ученый секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций
кандидат технических наук, доцент



К.А. Харахнин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Metallургические предприятия характеризуются наличием большого числа опасных производственных объектов (ОПО). Аварийные ситуации на ОПО являются стихийными процессами, которые протекают непредсказуемо, быстро и информационно насыщенно. Персонал за короткое время должен воспринять большое количество информации и принять верное решение по недопущению дальнейшего развития аварии. Цена неправильных действий при локализации аварии высока и может выражаться в повреждении и уничтожении дорогостоящего имущества, загрязнении окружающей среды, гибели людей.

Снижение совокупного техногенного риска, особенности работы в условиях чрезвычайных ситуаций связаны с решением многих проблем фундаментального и прикладного характера, и, в первую очередь, с созданием эффективной системы планирования и оперативного управления комплексами мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Решению проблем оценки рисков, надежности и безопасности сложных технических систем промышленных предприятий посвящены научные работы В.М. Дозорцева, В.А. Назина, А.С. Можаяева, И.А. Рябина, А.А. Нозика, К.Р. Еникеевой и др. Вопросы поддержки принятия решений по управлению в чрезвычайных ситуациях рассмотрены в научных работах И.У. Ямалова, Э.А. Трахтенгерца, О.М. Проталинского, В.А. Геловани, А.А. Башлыкова, В.Б. Бриткова, Е.Д. Вязилова, П.М. Евграфова, И.П. Евграфова и др.

С целью снижения риска возникновения аварий и инцидентов до приемлемого уровня на металлургических предприятиях внедряются системы управления промышленной безопасностью и охраной труда (СУПБиОТ). ОАО «Северсталь» – одна из первых металлургических компаний, внедривших СУПБиОТ, в полном соответствии с международными стандартами. Большой вклад в разработку и внедрение СУПБиОТ на ЧерМК ОАО «Северсталь» внесли О.П. Титов, В.А. Осыков и др. Одной из важных задач, решаемых в рамках СУПБиОТ, является обеспечение готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях.

В основе такой подготовки лежат планы локализации аварий (ПЛА), разработка которых обязательна для организаций, эксплуатирующих взрывопожароопасные и химически опасные производственные объекты, независимо от организационно-правовых форм и формы собственности. Планы локализации аварий должны пересматриваться не реже одного раза в два года, а также при изменениях технологического процесса, его метрологического обеспечения, конструкции технических устройств или структурных реорганизаций подразделений.

Процесс проектирования и сопровождения ПЛА является сложным и в настоящее время практически не автоматизирован. Подготовка персонала к действиям по ПЛА часто сводится к простому заучиванию текстов, в то время как необходимо формировать навыки правильных действий по локализации аварий и

устранению их последствий, формировать знания типовых последовательностей действий.

Существующие разработки по подготовке персонала к действиям в аварийных ситуациях не позволяют осуществить комплексную автоматизацию процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях на базе интеграции знаний в области промышленной безопасности и оказания интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования и сопровождения ПЛА.

Таким образом, актуальна задача разработки моделей, метода и алгоритмов интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования и сопровождения ПЛА, лежащих в основе комплексной автоматизации процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях путем формализации и интеграции знаний с использованием современных методов искусственного интеллекта.

Объектом исследования является процесс обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях.

Предметом исследования являются математические и алгоритмические методы комплексной автоматизации процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях.

Целью работы является разработка моделей, метода и алгоритмов интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования и сопровождения планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий.

Для достижения поставленной цели в работе определены следующие основные задачи:

1. Разработать модель процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях и на основе ее анализа выявить проблемные задачи исследования.

2. Разработать модели и метод, позволяющие применить интеллектуальные информационные технологии в целях оказания интеллектуальной информационной поддержки принятия решений лицами, осуществляющими проектирование планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий.

3. Разработать алгоритмическое обеспечение поддержки принятия решений в процессе проектирования и сопровождения планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий.

4. Разработать программное обеспечение, реализующее предложенные модели, метод и алгоритмы, и методику его применения для обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях.

Методы исследования. Для решения поставленных задач диссертационного исследования использован аппарат системного анализа, теории искусственного интеллекта, теории множеств и методы математического моделирования.

Научная новизна результатов работы и основные положения, выносимые на защиту, заключаются в следующем:

1. Разработана мультиагентная модель процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях и модель представления знаний, позволяющие применить интеллектуальные информационные технологии в целях оказания интеллектуальной информационной поддержки принятия решений лицами, осуществляющими данный процесс.

2. Разработан метод интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий, основанный на применении интеллектуальных информационных технологий и позволяющий автоматизировать данный процесс.

3. Разработано алгоритмическое обеспечение поддержки принятия решений в процессе проектирования и сопровождения планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий:

- алгоритм генерации ПЛА, позволяющий автоматизировать процесс проектирования планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий, выполняемый в настоящее время вручную, с использованием интеллектуальных информационных технологий;

- алгоритм оценки качества ПЛА, позволяющий упорядочить, формализовать и автоматизировать процедуру оценки качества планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий, выполняемую в настоящее время вручную;

- алгоритм подготовки и оценки готовности персонала металлургических предприятий к действиям по ПЛА, позволяющий упорядочить, формализовать и автоматизировать процедуру подготовки и оценки готовности персонала к действиям по планам локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий, которая в настоящее время практически не автоматизирована.

Практическая значимость работы. Разработанные модели, метод и алгоритмы интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования и сопровождения планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий обеспечивают решение задачи комплексной автоматизации процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях.

Практическое использование результатов диссертационной работы позволяет снизить трудоемкость проектирования планов локализации аварий опасных производственных объектов и повысить качество подготовки персонала металлургических предприятий к действиям по ПЛА.

Реализация результатов работы. Предложенные модели, метод и алгоритмы интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования и сопровождения планов локализации аварий опасных

ных производственных объектов металлургических предприятий реализованы в разработанной автоматизированной информационно-обучающей системе.

Основные научные и практические результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены и используются на предприятии ЧерМК ОАО «Северсталь», а также нашли практическое применение в учебном процессе на кафедре автоматизации и систем управления ГОУ ВПО «Череповецкий государственный университет».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на международных, всероссийских и межвузовских научных конференциях: на IV международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования» (Вологда, 2008 г.), IV всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2009 (Санкт-Петербург, 2009 г.), VI и VII всероссийских научно-технических конференциях «Вузовская наука – региону» (Вологда, 2008-2009 г.г.), IX межвузовской научно-практической конференции молодых ученых (Череповец, 2008 г.), V-VII межвузовских научно-практических конференциях «Актуальные проблемы управления экономикой и социальной сферой города и региона» (Череповец, 2007-2009 г.г.), XVIII межвузовской военно-научной конференции «Информационные технологии в радиоэлектронике и проблемы образовательного процесса подготовки специалистов в технических вузах» (Череповец, 2009 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов и заключения. Содержит 135 страниц машинописного текста, включая 33 рисунка, 5 таблиц и список литературы из 77 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, перечислены методы исследования, отмечены научная новизна и практическая ценность результатов исследования.

В первом разделе проведен анализ проблемы обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях.

На основе изучения действующих нормативных актов в области промышленной безопасности рассмотрена сущность обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях.

Разработана процессная модель обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях, позволившая выявить проблемные задачи исследования:

1. Для основных процессов (разработка ПЛА, оценка качества ПЛА, подготовка и оценка готовности персонала к действиям по ПЛА) не в полной мере определен механизм их реализации.

2. Процесс обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях практически не автоматизирован, что затрудняет проектирование ПЛА и поддержание их в актуальном состоянии.

3. Процесс обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях требует сбора и анализа большого количества исходной информации, представленной в виде знаний. Это требует решения задачи интеграции и управления знаниями.

4. Реализация процессов подготовки и оценки готовности персонала к действиям по ПЛА имеет недостатки: ограничение по объему ПЛА затрудняет описание всех возможных аварийных ситуаций, а агрегирование ситуаций в один сценарий затрудняет их понимание; обучение по ПЛА часто сводится к простому заучиванию текстов, в то время как необходимо формировать навыки правильных действий по локализации аварий и устранению их последствий, формировать знания типовых последовательностей действий; отсутствие четкой методики оценивания готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях затрудняет анализ эффективности принимаемых организационно-технических мер в области промышленной безопасности.

Показано, что известные методы информационной поддержки обеспечения готовности персонала к действиям в аварийных ситуациях можно сгруппировать по следующим направлениям: обучение операторов технологических процессов (работы В.М. Дозорцева, В.Ф. Очкова, В.А. Назина, М.А. Бояркина, С.В. Солодова и др.); поддержка принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций (работы И.У. Ямалова, П.М. Евграфова, И.П. Евграфова, В.А. Геловани, А.А. Башлыкова, В.Б. Бриткова, Е.Д. Вязилова, Л.Ф. Ноженкова, Т.М. Смородинова, А.Ф. Бермана и др.); комплексная автоматизация процессов аттестации персонала (работы Д.И. Попова, Е.П. Вяловой и др.).

Работы по всем направлениям посвящены проблемам подготовки персонала, в основном, в химической и нефтегазовой промышленности, а также в энергетике. В металлургической промышленности, как правило, рассматривается уровень управления технологическими процессами. В то же время предприятия металлургического комплекса, с точки зрения возникновения чрезвычайных ситуаций, отличаются: использование в технологических процессах и их обслуживании большого количества трудовых ресурсов; большие объемы веществ и материалов, в том числе химически опасных; значительные тепловые излучения; использование в технологических процессах мощных агрегатов, машин и механизмов, создающих промышленные опасности; большие территории; расположение предприятий вблизи населенных пунктов, а также вблизи крупных рек и водоемов. Это требует создания комплексной системы управления промышленной безопасностью металлургических предприятий, охватывающей все уровни управления.

Одной из важных задач такой системы является обеспечение готовности персонала к действиям в аварийных ситуациях на основе разработки и сопровождения планов локализации аварий ОПО металлургических предприятий. Анализ известных работ показал, что существующие разработки в данной области не в полной мере позволяют автоматизировать процесс обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях.

Предложено комплексное решение проблемы, основанное на применении интеллектуальных информационных технологий. В качестве базового метода выбран метод, основанный на мультиагентной технологии, развитой в работах А.Н. Швецова, С.А. Яковлева, Г.Б. Евгенева, П.О. Скобелева и др.

Сформулированы задачи интеллектуальной информационной поддержки принятия решений ответственными лицами, исполняющими процессы обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях.

Задача интеллектуальной информационной поддержки процесса проектирования ПЛА формально представлена в виде отображения:

$$F_1: \langle RD, PR, EK \rangle \rightarrow \langle \{ \langle DO_i, T_i (Act_1^{<i>, \dots, Act_{H_i}^{<i>}) \rangle \}, \{ D_k \} \rangle, i=1..N, k=1..M, \quad (1)$$

где RD – нормативные требования, PR – производственная документация, EK – знания специалистов, DO_i – опасный производственный объект-источник i -й аварии, T_i – вид i -й аварии, $Act_j^{<i>$ – j -е действие для i -й аварии, D_k – k -й документ приложения ПЛА, N – число возможных аварий, H_i – число действий для i -й возможной аварии, M – число документов приложения ПЛА.

Задача интеллектуальной информационной поддержки процесса оценки качества ПЛА формально представлена в виде функционалов:

$$Q_{Pla} = f_{21}(Q), \quad Q = f_{22}(C), \quad (2)$$

где Q_{Pla} – интегральная оценка качества ПЛА, Q – матрица оценок качества элементов ПЛА, C – матрица значений показателей качества ПЛА.

Предложено в качестве средства подготовки и оценки готовности персонала к действиям по ПЛА использовать деловые игры (ДИ), проводимые на компьютере. Задача интеллектуальной информационной поддержки процесса подготовки и оценки готовности персонала к действиям по ПЛА формально представлена в виде:

$$F_3: Pla \rightarrow \{ \langle P_i, R_i, A_i, L_i \rangle \}, i=1..N, \quad (3)$$

где Pla – ПЛА, P_i – множество участников i -го сценария ДИ, R_i – множество ролей участников i -го сценария ДИ, A_i – множество возможных действий участников i -го сценария ДИ, L_i – правила задающие правильную последовательность действий участников i -го сценария ДИ, N – число сценариев ДИ.

Во втором разделе разработан метод интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий.

Разработана мультиагентная модель процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях, представленная на рис. 1.

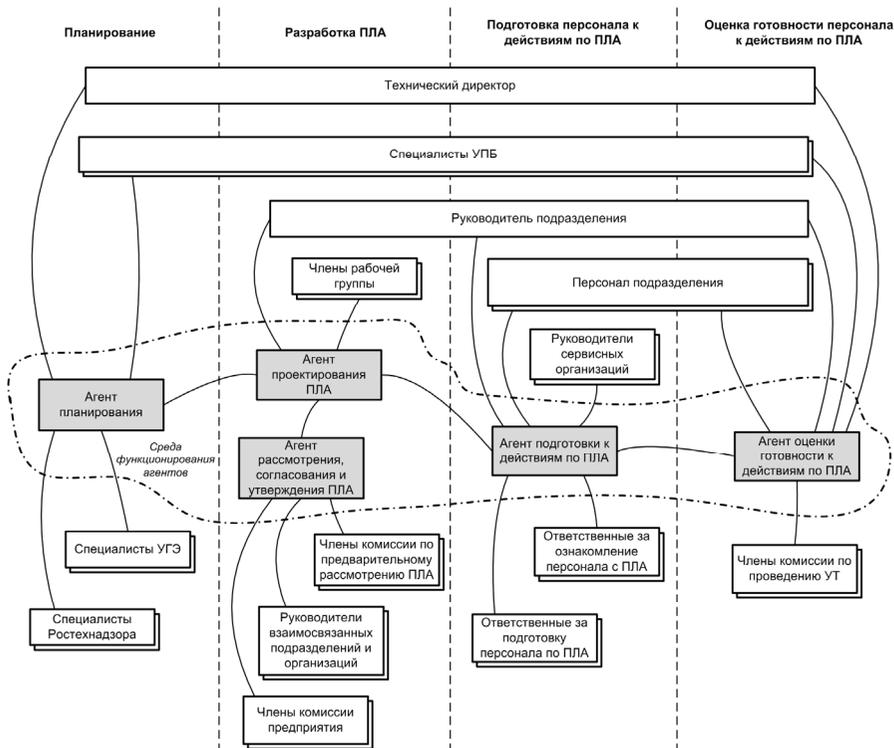


Рис. 1. Мультиагентная модель процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях

Данная модель позволила реализовать мультиагентную технологию проектирования системы интеллектуальной информационной поддержки принятия решений и автоматизировать процесс проектирования и сопровождения ПЛА на основе интеграции и управления знаниями.

Предложен метод интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования ПЛА, основанный на разработке онтологии и генерации ПЛА.

Проведен анализ требований, предъявляемых к онтологическому описанию знаний процесса проектирования ПЛА:

1. При задании концептов онтологии необходимо выделить концепты-классы и концепты-экземпляры и разделить их описание на два уровня иерархии соответственно. Такая организация онтологии удобна при описании произ-

водственных систем, наглядна для разработчика, позволяет снизить риск ошибочного описания.

2. Область знаний, описываемая онтологией, должна быть представлена в виде иерархически упорядоченного набора подобластей, описываемых независимыми частями онтологии. Такое деление онтологии соответствует общей иерархической идеологии формирования ПЛА, упрощает процесс создания и модификации онтологии, обеспечивает структурированность знаний.

3. Знания онтологии должны описывать как статический, так и динамический аспекты концептов. Статика подразумевает описание производственного оборудования, помещений, средств противояварийной защиты, видов аварий и пр., в то время как динамика – описание поведения лиц, принимающих участие в локализации аварий.

Предложено использовать продукционно-фреймовое представление знаний, удовлетворяющее обозначенным требованиям. В качестве базиса онтологического описания выбрана специальная информационная структура – фрейм-концепт (ФК), изображенная на рис. 2, и представляемая в виде четверки:

$$FK = \langle NM, SA, SL, BM \rangle, \quad (4)$$

где NM – имя ФК (символический идентификатор), SA – множество атрибутов ФК, SL – множество отношений ФК, BM – модель поведения ФК.

Каждый ФК имеет индивидуальный набор атрибутов. При этом, в зависимости от особенностей их задания, выделены ФК-классы и ФК-экземпляры. Отношения ФК задаются в виде бинарных связей четырех видов: композиция, агрегация, зависимость и ассоциация. Рассмотрены их основные свойства, особенности применения.

Атрибуты и отношения задают статическую составляющую описания ФК. Динамическая составляющая определяется при помощи модели поведения. Выделены пассивные ФК (ПФК) для которых $BM = \emptyset$ и активные ФК (АФК) для которых $BM \neq \emptyset$. ПФК рассматривается как инфообъект, простейший вид которого $\langle NM, \emptyset, \emptyset, \emptyset \rangle$, задающий термин предметной области. В то время как АФК обладает собственным поведением и рассматривается как агент-исполнитель (далее агент).

Модель поведения агента (АФК) задана в виде:

$$BM = \langle S, E, C, R \rangle, \quad (5)$$

где S – множество состояний агента, E – множество событий воспринимаемых агентом, C – множество условий реакций агента на события, R – множество реакций агента на события. При этом, $\langle C, R \rangle$ из (5) рассматриваются как продукции, где C – посылки (условия продукции), R – заключения (действия).

Таким образом, онтология представлена как конечное множество ФК, включающее в себя ПФК (инфообъекты) и АФК (агенты):

$$Ont = \{FK_i\} = FK_P \cup FK_A, i=1..N, \quad (6)$$

где FK_i – i -й ФК, N – число ФК в онтологии, FK_P – множество ПФК, FK_A – множество АФК, $FK_P \cap FK_A = \emptyset$.

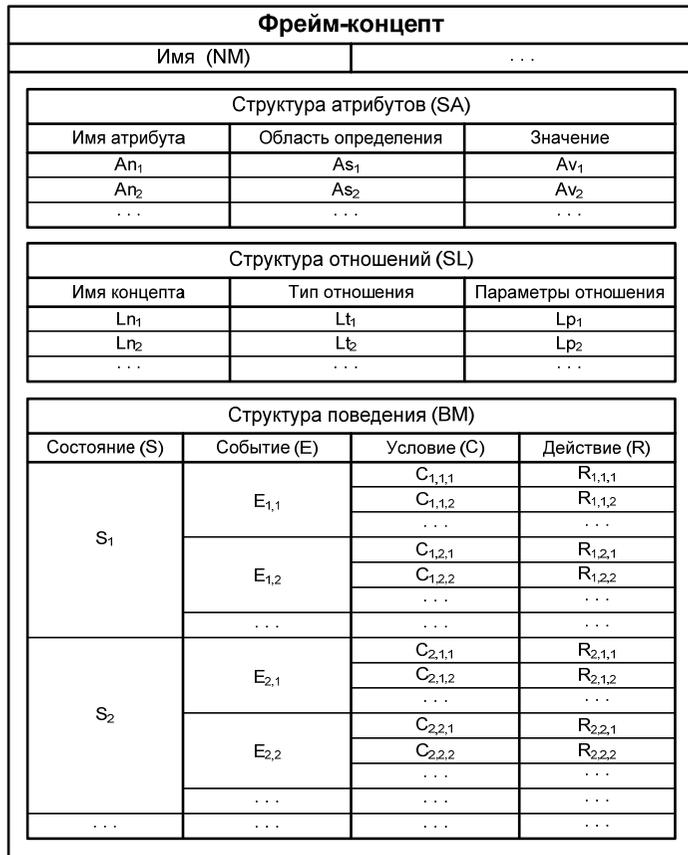


Рис. 2. Структура фрейм-концепта

Предложено разработку и модификацию онтологии осуществлять в графической форме. При этом, онтология представляется в виде семантической сети – направленного графа с поименованными вершинами и дугами, причем узлы обозначают концепты и их атрибуты, а дуги – отношения между концептами.

Для задания моделей поведения АФК разработан формальный язык программирования агентов, который, в отличие от универсальных языков программирования (Java, C++ и др.) и известных специализированных языков программирования агентов (Telescript, KQML, AgentSpeak, AGENT-K и др.), не требует привлечения высококвалифицированных программистов и в полной мере соответствует решаемой задаче автоматизированного проектирования ПЛА.

Разработана онтология газового хозяйства нагревательных печей сортопрокатного производства ЧерМК ОАО «Северсталь», фрагмент которой представлен на рис. 3.

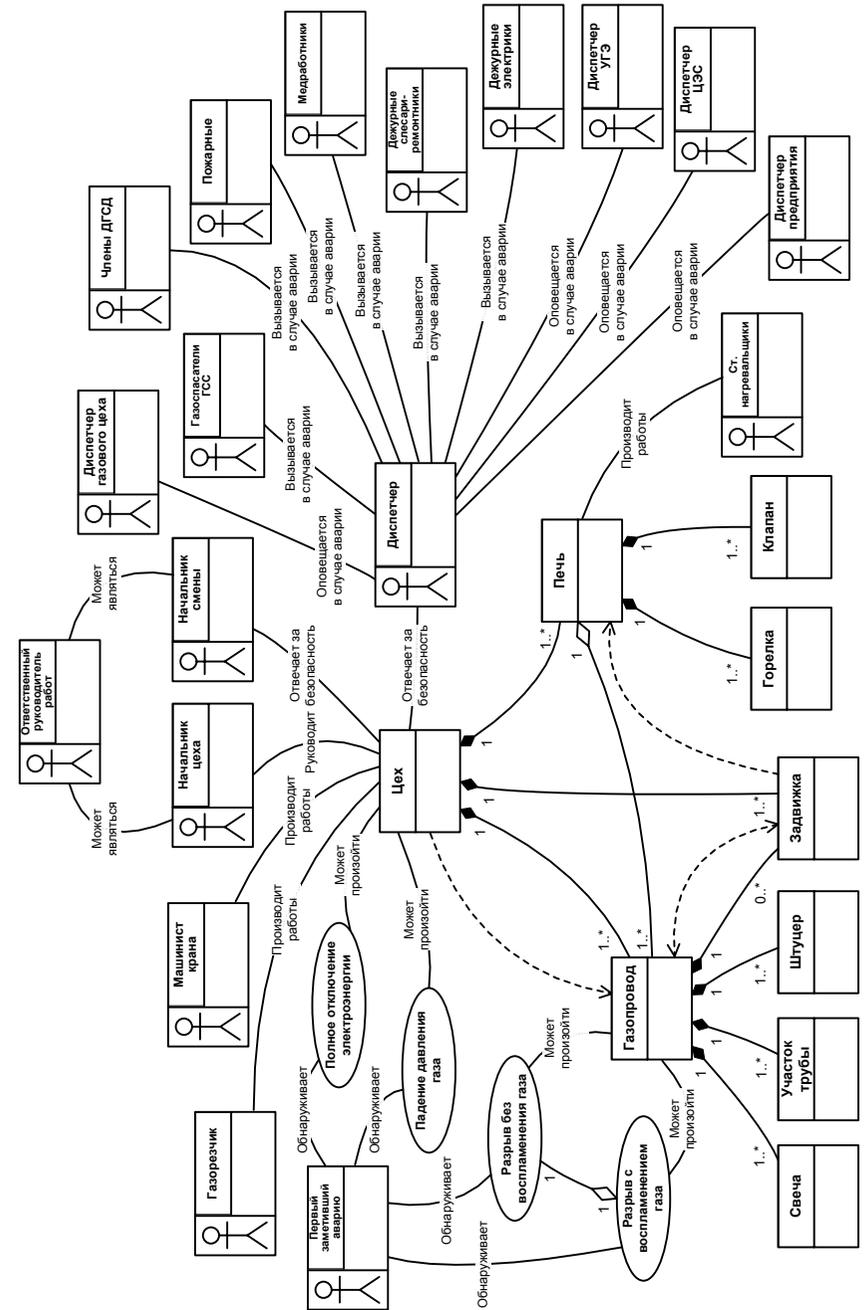


Рис. 3. Фрагмент онтологии газового хозяйства нагревательных печей сортопрокатного производства ЧерМК ОАО «Северсталь»

Разработан алгоритм генерации планов локализации аварий. Генерация ПЛА рассматривается как имитационный эксперимент на онтологической модели. При этом, для каждой возможной аварии по каждому ОПО инициируется процесс взаимодействия агентов, имитирующих действия по локализации аварии ответственными лицами. Схема алгоритма представлена на рис. 4.

При описании алгоритма использованы следующие обозначения: S_i – состояние i -го агента; Q_i – очередь сообщений i -го агента; q_i – первоочередное сообщение из очереди сообщений i -го агента Q_i ; $E_{S_i,j}^{<i>$ – j -е событие для S_i -го состояния i -го агента; $C_{S_i,j,k}^{<i>$ – условие k -й продукции для j -го события S_i -го состояния i -го агента; $R_{S_i,j,k}^{<i>$ – действие k -й продукции для j -го события S_i -го состояния i -го агента; N – число агентов; $M_{S_i}^{<i>$ – число событий для S_i -го состояния i -го агента; $Z_{S_i,j}^{<i>$ – число продукций для j -го события S_i -го состояния i -го агента; i, j, k – счетчики циклов.

Начальные условия выполнения алгоритма:

$$\forall i=1..N: S_i=1, Q_i=\emptyset; \forall j=1..O \forall k=1..T_j: A_{j,k}=A_{j,k}^0, \quad (7)$$

где $A_{j,k}$ – значение k -го атрибута j -го ФК, $A_{j,k}^0$ – начальное значение k -го атрибута j -го ФК, O – число ФК, T_j – число атрибутов j -го ФК.

Алгоритм основан на дискретно-событийном подходе к моделированию. Все входящие для агента сообщения помещаются в очередь сообщений, организованную по принципу FIFO. Все сообщения, находящиеся в очередях сообщений агентов в рамках одного цикла исполнения, считаются одновременными во времени. Все действия, выполняемые агентами, считаются совершаемыми мгновенно. Исходное событие (авария на ОПО) помещается в очередь сообщений ассоциированного с ним агента. Условием окончания исполнения алгоритма является отсутствие сообщений в очередях сообщений агентов.

В результате многократного исполнения алгоритма фиксируются последовательности актов действия/взаимодействия агентов, задающие оперативную часть ПЛА. При этом, каждое действие при описании аварий оперативной части ПЛА в соответствии с (1) задается в виде:

$$\forall i=1..N \forall j=1..H_i: Act_j^{<i>} = \langle T_j^{<i>, E_j^{<i>, B_j^{<i>, I_j^{<i>, S_j^{<i>}, \quad (8)$$

где $Act_j^{<i>}$ – j -е действие для i -й аварии оперативной части ПЛА; $T_j^{<i>}$ – описание j -го действия для i -й аварии; $E_j^{<i>}$ – исполнитель j -го действия i -й аварии; $B_j^{<i>}$ – описание средств противоаварийной защиты, используемых при выполнении j -го действия для i -й аварии (может не указываться); $I_j^{<i>}$ – графическое изображение, сопоставленное j -му действию для i -й аварии (может не указываться); $S_j^{<i>}$ – признак синхронности j -го действия для i -й аварии (указывается в том случае, если данное действие может быть выполнено одновременно с предыдущим); N – число аварий оперативной части ПЛА; H_i – число действий для i -й аварии оперативной части ПЛА.

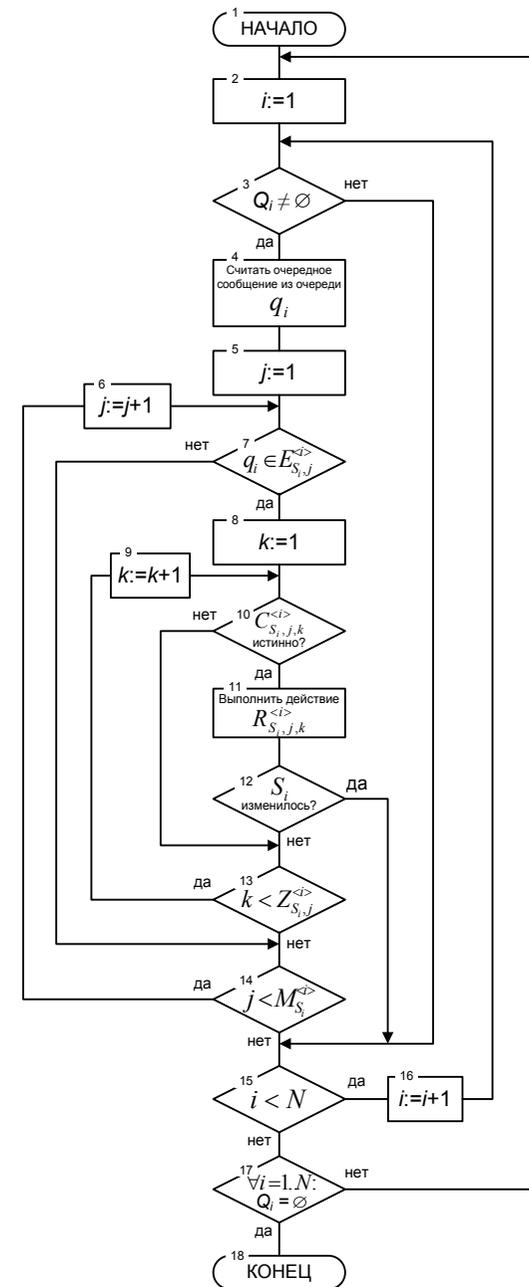


Рис. 4. Схема алгоритма генерации ПЛА

Основным преимуществом рассмотренного алгоритма генерации является возможность корректировки (актуализации) ПЛА в случае внесения изменений в онтологию – соответствующие изменения в ПЛА будут сделаны автоматически, что позволяет существенно упростить процесс актуализации ПЛА силами работников предприятия.

В третьем разделе разработаны алгоритмы интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе сопровождения планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий.

Разработан алгоритм автоматизированной оценки качества ПЛА, предусматривающий три этапа автоматизации: формальная оценка качества ПЛА; оценка качества ПЛА по существу; практическая оценка качества ПЛА.

Оценка качества ПЛА на первом этапе проводится автоматически по следующим формальным показателям: в процессе генерации ПЛА не произошло ошибок; сгенерированный ПЛА включает в себя конечное число действий; сгенерированный ПЛА завершается меткой окончания генерации.

Оценка качества ПЛА на втором этапе предполагает анализ содержимого элементов ПЛА на предмет их корректности при помощи опроса экспертов. При этом, экспертная оценка качества ПЛА имеет ряд особенностей: экспертам предлагается оценить элементы ПЛА на основе заранее определенных шести показателей, по каждому из которых эксперт должен определить свое мнение в бинарном виде (да/нет); эксперт может оценивать все, либо только часть элементов ПЛА, поскольку разные направления ПЛА требуют привлечения разных экспертов; часть экспертов может обладать «правом вето» и иметь возможность выставить неудовлетворительную оценку независимо от мнения остальных экспертов, что позволяет реализовать механизм согласования ПЛА.

Значимость каждого эксперта задана в виде матрицы-столбца весов экспертов W размерности $N \times 1$: $W = [w_i]$, где w_i – вес i -го эксперта ($i=1..N$), $w_i \in \{0, 1\}$, N – число экспертов.

Вес каждого эксперта задается в бинарном виде: 0 – обычный эксперт; 1 – эксперт с «правом вето», отрицательное (но не положительное) мнение которого является решающим.

Мнения экспертов по каждому элементу ПЛА формализованы в виде матрицы опроса экспертов для k -го элемента ПЛА $C^{<k>}$ размерности $N \times 6$: $\forall k=1..Z$ $C^{<k>} = [c_{i,j}^{<k>}]$, где $c_{i,j}^{<k>}$ – значение j -го показателя качества для k -го элемента ПЛА по мнению i -го эксперта ($i=1..N, j=1..6, k=1..Z$), $c_{i,j}^{<k>} \in \{-1, 0, 1\}$, N – число экспертов, участвующих в опросе, Z – число элементов ПЛА.

Мнение эксперта по каждому показателю качества может быть положительным и выражено числом 1, отрицательным и выражено числом -1, либо неопределенным, что задается числом 0.

Оценка качества k -го элемента ПЛА рассчитывается с помощью матрицы частных оценок качества D размерности $Z \times 6$: $D = [d_j^{<k>}]$, где $d_j^{<k>}$ – оценка k -го элемента ПЛА по j -му показателю ($j=1..6, k=1..Z$), Z – число элементов ПЛА.

Каждый элемент матрицы D , принимающий значения 0 или 1, показывает обобщенное мнение экспертов по каждому показателю для конкретного элемента ПЛА и вычисляется по формуле:

$$\forall k=1..Z \forall j=1..6: d_j^{<k>} = h \left(\frac{\sum_{i=1}^N [c_{i,j}^{<k>} \cdot (1 + \delta(1 + w_i \cdot c_{i,j}^{<k>}))]}{\sum_{i=1}^N |c_{i,j}^{<k>}|} \right), \quad (9)$$

где $d_j^{<k>}$ – оценка k -го элемента ПЛА по j -му показателю, $c_{i,j}^{<k>}$ – значение j -го показателя качества для k -го элемента ПЛА по мнению i -го эксперта, w_i – вес i -го эксперта, Z – число элементов ПЛА, δ – дельта-функция вида

$$\delta(x) = \begin{cases} \infty, & x=0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}, \quad h - \text{ступенчатая функция вида } h(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}.$$

В случае, если для определенного элемента ПЛА по каким-либо показателям ни один эксперт не определил свое мнение (положительное или отрицательное), то в процессе расчета (9) числитель и знаменатель аргумента ступенчатой функции обращаются в ноль. При этом, неопределенность вида (0/0) трактуется как ноль.

Оценка качества ПЛА на втором этапе рассчитывается как:

$$Q2 = \min(D), \quad (10)$$

где D – матрица частных оценок качества ПЛА.

Оценка качества ПЛА на третьем этапе производится по результатам проведения учебных тревог, в процессе которых на практике проверяются мероприятия, предписываемые ПЛА.

Учебная тревога может выявить следующие ошибки составления ПЛА: предписываемые ПЛА мероприятия или их последовательность некорректны или невыполнимы на практике; описываемые в ПЛА объекты или средства противоаварийной защиты не существуют на практике, или сведения о них некорректны (например, местоположение, свойства и пр.).

По результатам рассмотренных этапов, ПЛА признается качественным только в том случае, если на каждом этапе получена положительная оценка. В противном случае ПЛА требует доработки в части тех элементов, по которым получены неудовлетворительные оценки. Таким образом, критерий качества ПЛА представлен в виде условия: $\min(Q1, Q2, Q3) = 1$, где $Q1-Q3$ – бинарные оценки качества ПЛА на первом, втором и третьем этапах соответственно.

Разработан алгоритм автоматизированной подготовки и оценки готовности персонала к действиям по ПЛА на основе проведения деловых игр, которые являются, с одной стороны, средством оценки знаний ПЛА (как в режиме

самоконтроля, так и в режиме экзамена), а с другой – средством обучения действиям по ПЛА, в форме воспроизведения полученных знаний и подготовки к проведению учебных тревог.

Разработаны два вида деловых игр (ДИ): индивидуальная и коллективная. Индивидуальная ДИ является основной формой контроля знаний ПЛА и рассматривается как интерактивное тестовое задание.

Исходными данными для проведения и оценивания результатов индивидуальной ДИ является правильная последовательность действий (мероприятий) по конкретной аварии оперативной части ПЛА, полученная в процессе проектирования ПЛА. Участнику ДИ данная последовательность предъявляется в перемешанном случайным образом виде. Задача участника – «сконструировать» процесс локализации предложенной аварии, путем выбора и расстановки действий в правильной последовательности.

Для каждой аварии оперативной части ПЛА на основе (8) генерируется проверочная матрица ДИ D размерности $N \times N$: $D = [d_{i,j}]$, где $d_{i,j}$ – признак допустимости указания j -го действия на i -м шаге построения последовательности действий ПЛА (равен 1 в случае допустимости, 0 – в противном случае), $i=1..N$, $j=1..N$, $\forall i > Z \forall j > Z: d_{i,j} = 0$, N – общее число действий, представляемых участнику, Z – число правильных действий ($Z < N$).

Действия участника фиксируются в виде матрицы решений ДИ R размерности $1 \times M$: $R = [r_i]$, где r_i – решение участника, принятое на i -м шаге ДИ (указывается номер выбранного действия), $i=1..M$, M – число действий, выбранных участником ($M \leq N$), N – общее число действий, представляемых участнику.

Оценка, выставляемая участнику по результатам проведения ДИ, вычисляется по формуле:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^M d_{i,r_i}}{Z + s(M - Z)} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где P – оценка участника ДИ, d – элемент проверочной матрицы ДИ, r – элемент матрицы решений ДИ, Z – число правильных действий, M – число действий, выбранных участником, s – функция вида $s(x) = \begin{cases} x, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$.

При вычислении (11) каждый нулевой элемент проверочной матрицы d_{i,r_i} указывает на допущенную на i -м шаге ошибку. Большая оценка соответствует лучшему результату (меньшему количеству ошибок). Оценка считается положительной при условии $P=100\%$ и отрицательной – в противном случае.

Коллективная ДИ позволяет распределить решение задачи локализации аварии между участниками ДИ, исполняющими роли разных исполнителей, и, тем самым, отработать порядок их взаимодействия.

Для проведения коллективной ДИ по каждой аварии оперативной части ПЛА на основе (8) генерируется проверочная матрица для каждого участника ДИ $D^{<k>}$ размерности $N \times N$: $D^{<k>} = [d_{i,j}^{<k>}]$, где $d_{i,j}^{<k>}$ – признак допустимости указания j -го действия на i -м шаге построения последовательности действий ПЛА k -м участником ДИ (равен 1 в случае допустимости, 0 – в противном случае), $i=1..N$, $j=1..N$, $k=1..T$, $\forall i > Z \forall j > Z \forall k=1..T: d_{i,j}^{<k>} = 0$, N – общее число действий, представляемых участникам, Z – число правильных действий ($Z < N$), T – число участников ДИ.

На основе матриц $D^{<k>}$ рассчитывается матрица числа правильных действий участников ДИ B размерности $1 \times T$: $B = [b_k]$, где b_k – число правильных действий, подлежащих исполнению k -м участником ДИ, $k=1..T$, T – число участников ДИ. Каждый элемент матрицы B вычисляется по формуле:

$$b_k = \sum_{i=1}^N h \left(\sum_{j=1}^N d_{i,j}^{<k>} \right), \quad (12)$$

где d – элемент проверочной матрицы для соответствующего участника ДИ, N – общее число действий, представляемых участникам, h – ступенчатая функция вида $h(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$.

Действия участников фиксируются в виде матрицы решений ДИ R размерности $T \times M$: $R = [r_{i,j}]$, где $r_{i,j}$ – решение i -го участника, принятое на j -м шаге ДИ (указывается номер выбранного действия, либо 0 в случае, если участник на данном шаге решения не принимал), $i=1..T$, $j=1..M$, T – число участников ДИ, M – число действий, выбранных всеми участниками ($M \leq N$), N – общее число действий, представляемых участникам.

Оценка, выставляемая участникам по результатам проведения ДИ, $P^{<k>}$ вычисляется по формуле:

$$\forall k=1..T: P^{<k>} = \frac{\sum_{i=1}^M d_{i,r_{k,i}}^{<k>}}{b_k + s \left(\sum_{i=1}^M h(r_{k,i}) - b_k \right)} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где d – элемент проверочной матрицы для соответствующего участника ДИ; r – элемент матрицы решений ДИ; b – элемент матрицы числа правильных действий; s – функция вида $s(x) = \begin{cases} x, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$; h – ступенчатая функция вида $h(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$; M – число действий, выбранных всеми участниками, T – число участников ДИ.

При вычислении (13) подсчет ведется по всем ненулевым элементам матрицы решений ДИ, при этом во избежании неоднозначности принято, что $\forall k: \text{если } r_{k,i}=0, \text{ то } d_{i,r_{k,i}}^{<k>}=0$.

Итоговая оценка коллективной ДИ P вычисляется по формуле:

$$P = \frac{\sum_{k=1}^T \left[\sum_{i=1}^M d_{i,r_{k,i}}^{<k>} \right]}{\sum_{k=1}^T \left[b_k + s \left(\sum_{i=1}^M h(r_{k,i}) - b_k \right) \right]} \cdot 100\%, \quad (14)$$

где обозначения соответствуют таковым для формулы (13).

Большая оценка соответствует лучшему результату (меньшему количеству ошибок). Оценка считается положительной при условии $P=100\%$.

В четвертом разделе рассмотрены вопросы практической реализации метода и алгоритмов интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования и сопровождения планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий.

В качестве средства реализации решения задач интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования и сопровождения планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий предложена автоматизированная информационно-обучающая система (АИОС).

Структура АИОС разработана на основе мультиагентной модели процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях и представлена в виде совокупности взаимосвязанных, но относительно автономных программных модулей (агентов).

Мультиагентная модель АИОС, представленная в разрезе ролей агентов и соответствующих им автоматизированных рабочих мест пользователей системы изображена на рис. 5. Описаны функции отдельных элементов АИОС, а также их информационные связи.

Основными особенностями разработанной АИОС являются:

1. Комплексная автоматизация процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях, охватывающая процессы: проектирование ПЛА, оценка качества ПЛА, а также подготовка и оценка готовности персонала к действиям по ПЛА.

2. Интеллектуальная информационная поддержка принятия управленческих решений в процессе обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях на основе формализации и интеграции знаний в области промышленной безопасности с использованием современных методов искусственного интеллекта.

Рассмотрены практические аспекты реализации АИОС. Предложено для хранения БЗ и информационного обмена между отдельными модулями использовать универсальный язык XML. Разработаны XML-шаблоны описания знаний, хранимых в базе знаний АИОС.

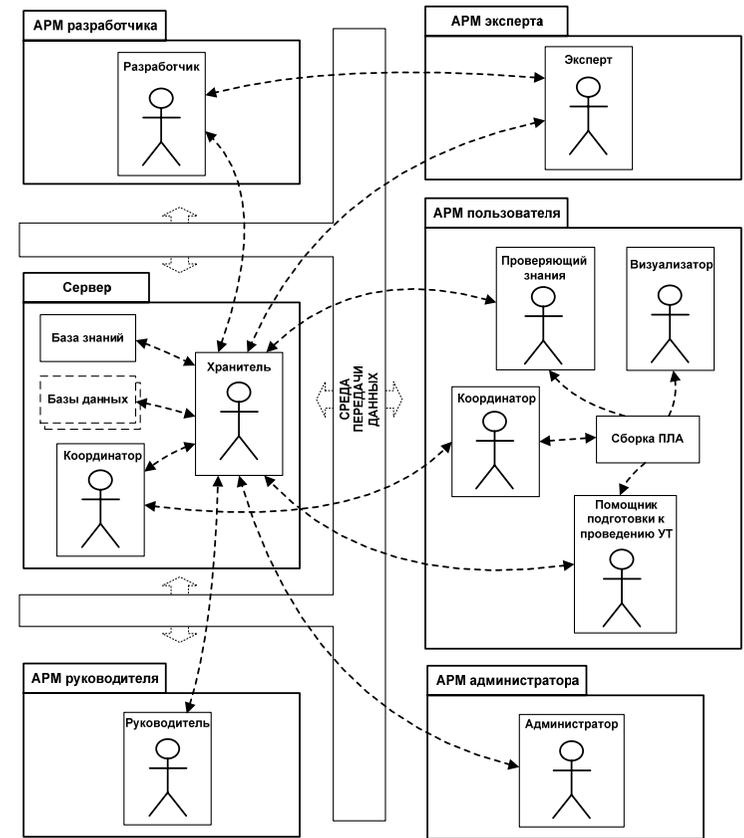


Рис. 5. Мультиагентная модель АИОС

Проведен анализ особенностей организации автоматизированных рабочих мест, характерных для металлургических предприятий: часть рабочих мест не оборудована стационарными рабочими станциями; часть рабочих станций работает автономно (нет физического подключения к сети, либо сеть недоступна для использования); в результате аварии сетевое соединение может быть нарушено. Ввиду этого предложено отказаться от традиционной клиент-серверной организации доступа к материалам ПЛА и использовать технологию тиражирования сборки ПЛА.

Суть технологии состоит в следующем. На основании разработанного ПЛА автоматически генерируется сборка, включающая в себя XML-описание материалов ПЛА, совместно с необходимыми вспомогательными файлами (графические изображения, документы и пр.), упакованными в один пакет, который доставляется на каждую рабочую станцию (автоматически в случае наличия сетевого соединения, либо посредством съемных носителей информации).

Технология тиражирования сборки ПЛА в сравнении с клиент-серверной технологией обладает преимуществами: существенное снижение сетевого трафика; возможность локального доступа к материалам ПЛА в случае отсутствия или временного разрыва сетевого соединения; повышенная надежность и информационная безопасность всей системы в целом, поскольку конечные пользователи не имеют прямого доступа к записям БЗ.

Предусмотрена реализация модуля визуализации ПЛА для различных платформ, в том числе для карманных ПК и смартфонов, что делает материалы ПЛА доступными в портативном варианте.

Разработана методика обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях с использованием автоматизированной информационно-обучающей системы.

Первоначальная разработка ПЛА для вновь вводимых производств или отдельных ОПО осуществляется на этапе их проектирования. При этом, на основе проектной документации составляется онтологическое описание в соответствии с (6). Генерируется первоначальная версия ПЛА, производится оценка его качества с участием экспертов, и, в случае необходимости, вносятся исправления.

В процессе периодической актуализации ПЛА, посредством внесения изменений в онтологию, соответствующие изменения в ПЛА делаются автоматически. Такая модификация ПЛА значительно проще его первоначальной разработки и может выполняться силами специалистов предприятия.

Подготовка и оценка готовности персонала к действиям по ПЛА осуществляется с использованием электронного учебника ПЛА и ДИ. Индивидуальные ДИ могут проводиться как в режиме самоконтроля, так и в режиме экзамена. В режиме самоконтроля обучаемый самостоятельно выбирает аварию оперативной части ПЛА, инициирует начало ДИ на локальном компьютере, а также получает результат оценки своих знаний. Режим экзамена подразумевает сетевую организацию ДИ. Процесс проведения ДИ контролируется экзаменатором, который выбирает аварию оперативной части ПЛА и параметры проведения ДИ. Оценка, полученная обучаемым (или группой обучаемых), фиксируется в базе знаний АИОС. Коллективные ДИ всегда проводятся в режиме экзамена с выделением организатора и участников, что подразумевает сетевую организацию ДИ.

Практическое применение разработанной методики позволяет:

1) снизить трудоемкость проектирования планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий для новых объектов и ситуаций в среднем на 17 % и модификации существующих ПЛА в среднем на 60 % за счет автоматизации данного процесса;

2) повысить качество подготовки персонала металлургических предприятий к действиям по планам локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий за счет увеличения вариативности формируемых учебных аварийных ситуаций и когнитивного представления учебной информации.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по работе.

1. Процессная модель обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях. Сформулированы задачи интеллектуальной информационной поддержки принятия решений ответственными лицами, осуществляющими проектирование и сопровождение планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий.

2. Мультиагентная модель процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях и онтологическая модель на основе продукционно-фреймового представления знаний, позволяющие применить интеллектуальные информационные технологии в целях оказания интеллектуальной информационной поддержки принятия решений при проектировании и сопровождении ПЛА. Разработан формальный язык программирования агентов в рамках онтологического описания. Разработана онтология газового хозяйства нагревательных печей сортопрокатного производства ЧерМК ОАО «Северсталь».

3. Метод интеллектуальной информационной поддержки принятия решений в процессе проектирования планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий, позволяющий автоматизировать данный процесс и основанный на разработке онтологии и генерации ПЛА.

4. Алгоритм генерации планов локализации аварий, основанный на дискретно-событийном подходе к моделированию, позволяющий автоматизировать процесс проектирования ПЛА, который в настоящее время выполняется вручную, с использованием интеллектуальных информационных технологий.

5. Алгоритм автоматизированной оценки качества планов локализации аварий, позволяющий упорядочить, формализовать и автоматизировать процедуру оценки качества планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий, которая выполняется в настоящее время вручную. Предусмотрено три этапа оценивания: формальная оценка качества ПЛА, оценка качества ПЛА по существу, практическая оценка качества ПЛА.

6. Алгоритм автоматизированной подготовки и оценки готовности персонала к действиям по планам локализации аварий, основанный на применении деловых игр, проводимых на компьютере, и позволяющий упорядочить, формализовать и автоматизировать процедуру подготовки и оценки готовности персонала к действиям по планам локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий, которая в настоящее время практически не автоматизирована.

7. Автоматизированная информационно-обучающая система и методика ее применения при обеспечении готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях, позволяющая снизить трудоемкость проектирования ПЛА и повысить качество подготовки персонала к действиям по ПЛА.

Список публикаций по теме диссертации

по перечню ВАК:

1. Панов, Б.В. Мультиагентный подход к задаче обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях / Б.В. Панов, В.А. Шабалов // Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 9. – С. 68-69.

2. Панов, Б.В. Комплексная автоматизация процесса обеспечения готовности персонала металлургических предприятий к действиям в аварийных ситуациях / Б.В. Панов, В.А. Шабалов // Металлург. – 2009. – № 10. – С. 37-40.

в прочих изданиях:

3. Панов, Б.В. Обучающая информационно-аналитическая система как средство подготовки специалистов по автоматизации и управлению металлургическим производством / Б.В. Панов, В.А. Шабалов // Материалы IV международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования». – Вологда: ВоГТУ, 2008. – Т. 2. – С. 59-62.

4. Панов, Б.В. Агентное моделирование в задаче автоматизированной разработки планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий // Сборник докладов IV всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2009. – СПб.: ОАО «ЦТСС», 2009. – Т. II. – С. 204-209.

5. Панов, Б.В. Методика автоматизированного проектирования тренажеров операторов промышленных объектов / Б.В. Панов, В.А. Шабалов // Материалы VI всероссийской научно-технической конференции «Вузовская наука – региону». – Вологда: ВоГТУ, 2008. – Т. 1. – С. 119-123.

6. Панов, Б.В. Автоматизированная информационно-обучающая система «Электронный план локализации аварий» / С.В. Бойко, А.В. Владимирский, Б.И. Козлов, Б.В. Панов, В.А. Шабалов // Материалы VII всероссийской научно-технической конференции «Вузовская наука – региону». – Вологда: ВоГТУ, 2009. – С. 30-33.

7. Панов, Б.В. Модель системы автоматизированного проектирования деловых игр / Б.В. Панов, А.И. Петровичев, А.А. Смирнов, В.А. Шабалов // Материалы VII всероссийской научно-технической конференции «Вузовская наука – региону». – Вологда: ВоГТУ, 2009. – С. 79-82.

8. Панов, Б.В. Современные подходы к построению тренажеров для обучения операторов технологических процессов // Материалы IX межвузовской научно-практической конференции молодых ученых. – Череповец: ЧГУ, 2008. – С. 280-285.

9. Панов, Б.В. Современные технологии обеспечения безопасности и надежности автоматизированных систем управления технологическими процессами / Б.В. Панов, В.А. Шабалов // Сборник трудов межвузовской научно-практической конференции «Актуальные проблемы управления экономикой и социальной сферой города и региона». – Череповец: ИНЖЭКОН-Череповец, 2007. – С. 99-103.

10. Панов, Б.В. Концепция системы управления виртуальным металлургическим предприятием / Б.В. Панов, В.А. Шабалов // Сборник трудов межвузовской научно-практической конференции «Актуальные проблемы управления экономикой и социальной сферой города и региона». – Череповец: ИНЖЭКОН-Череповец, 2008. – С. 246-252.

11. Панов, Б.В. Методы и алгоритмы управления контентом автоматизированной системы обучения действиям по планам локализации аварий / Б.В. Панов, В.А. Шабалов, А.В. Владимирский // Материалы XVIII межвузовской военно-научной конференции «Информационные технологии в радиоэлектронике и проблемы образовательного процесса подготовки специалистов в технических вузах». – Череповец: ЧВИИРЭ, 2009. – С. 28-30.

свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

12. Панов, Б.В. Комплекс электронных учебных пособий «Промышленная безопасность» / Б.И. Козлов, Б.В. Панов, Н.Н. Самутичева, В.А. Шабалов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009614672; зарегистрировано 01.09.2009. – 1 с.

13. Панов, Б.В. Электронный учебно-методический комплекс «Системный анализ» / Б.В. Панов, В.В. Плащенко, В.А. Шабалов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613039; зарегистрировано 10.06.2009. – 1 с.