

На правах рукописи



Латыпова Виктория Александровна

**МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ
УПРАВЛЕНИИ РЕШЕНИЕМ СЛОЖНЫХ ОТКРЫТЫХ ЗАДАЧ
НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА
СООБЩЕНИЙ ОБ ОШИБКАХ**

Специальность:

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа – 2021

Работа выполнена на кафедре экономической информатики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор **Мартынов Виталий Владимирович**

Официальные оппоненты:

Кравец Алла Григорьевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Ботов Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и экономической информатики ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск.

Защита диссертации состоится 16 июня 2021 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.288.12 на базе ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» по адресу: 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» и на сайте www.ugatu.su.

Автореферат разослан «___» _____ 2021 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сметанина Ольга Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Все большее количество организаций начинает использовать процессное управление, при котором в основе структуры организации лежат бизнес-процессы. Последние описываются, регламентируются и контролируются с целью повышения их эффективности, а также повышения эффективности функционирования всей организации в целом. Однако существуют процессы, которые остаются неэффективными и в условиях процессного управления. В состав процессов некоторых организаций входит процесс решения задач, результатом которого является уникальный продукт, уникальное решение, содержащее элемент творчества и являющееся многоэлементным. Результат решения таких задач нельзя проверить простым сопоставлением с эталоном и, соответственно, автоматический контроль затруднен. Такие задачи в работе называются сложными открытыми задачами (СОЗ). Примерами СОЗ являются следующие задачи: разработка конструкторской документации на предприятиях, подготовка пакета документов для получения патентов и регистрации программ для ЭВМ, подготовка научных статей и докладов конференций, создание учебно-методических пособий, выполнение курсовых, лабораторных и др. работ в вузах. Процесс решения СОЗ включает в себя не только непосредственно решение, но и контроль качества результата и доведение его до требуемого уровня. В настоящее время во многих организациях зачастую данный процесс является неэффективным, как для его исполнителей, так и для контролеров, осуществляющих контроль качества результата решения. К причинам низкой эффективности необходимо отнести следующее. Процесс является итеративным и предполагает большие временные затраты. Контроль качества результата решения для большинства СОЗ осуществляется вручную и ограничен по времени. Также часто для процесса решения СОЗ характерна «сезонность», когда контролеры должны проверить в сжатые сроки очень большое количество работ. Проблема низкой эффективности процесса решения СОЗ усугубляется тем, что он осуществляется в различных областях деятельности (в экономике, науке и образовании). В этом случае процесс решения СОЗ является составной частью процессов, присущих различным исследуемым областям, особенности которых оказывают на него влияние.

Степень разработанности темы. Вопросам управления решением СОЗ в экономике посвящены работы В.В. Антонова, П.Н. Воронковой, Д.К. Елтышева, С.Е. Кондратьева, В.А. Огородова. Вопросам управления решением СОЗ в науке посвящены работы Э.И. Блеес, А.Г. Кравец, О.С. Логуновой, С.В. Тархова, С.А. Фоменкова, D. Heaven, J.V. Huang, K. Kihong. Вопросам управления решением СОЗ в образовании посвящены работы С.Н. Алексеева, С.Н. Васильева, Р.Н. Дятлова, Ю.А. Крапивко, Л.А. Кулыгиной, В.В. Лаптева, Е.Г. Мальковой, А.Н. Ростовцева, Ю.Е. Усачёва, Е.Н. Яшиной, A. Ade-Ibijola, S. Alber, S. Balfour, A. Chauhan, J. Docktor, S. Drasutis, S. Faletic, K. Goh и др. Вопросам процессного управления в организациях посвящены работы В.Г. Елиферова, В.В. Репина. Вопросам поддержки принятия решений (ППР) в социально-экономических системах посвящены работы А.В. Аверченкова, Л.С. Лисицыной, Е.А. Макаровой, В.Г. Наводнова, М.М. Низамутдинова, О.Н. Сметаниной, Л.Р. Черняховской, Т.М. Шамсутдиновой, Н.И. Юсуповой и др.

Несмотря на обширные исследования российских и зарубежных ученых в области управления решением СОЗ и наличие разнообразных методов и программных средств, для большинства СОЗ остается открытым вопрос повышения эффективности процесса их решения.

Объектом исследования является ППР при управлении решением СОЗ. **Предметом исследования** являются методы и программные средства ППР при управлении решением СОЗ с использованием интеллектуальных технологий.

Цель диссертационного исследования – повышение эффективности процесса решения СОЗ на основе обеспечения информационной поддержки с использованием интеллектуального анализа сообщений об ошибках.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **задачи**:

1) разработать концепцию информационной поддержки управления решением СОЗ на основе применения интеллектуального анализа сообщений об ошибках и технологий инженерии знаний;

2) разработать метод ППР при контроле результатов решения СОЗ с учетом декомпозиции на подпроцессы с использованием справочника типовых сообщений об ошибках, сформированного на основе кластеризации уникальных сообщений;

3) разработать метод ППР при контроле процесса решения СОЗ в целом, основанный на выделении классов типовых ошибок, использовании когнитивного моделирования эффективности процесса решения СОЗ и вывода на правила;

4) разработать модель оценки эффективности процесса решения СОЗ на основе метода ранжирования как метода экспертной оценки;

5) разработать программный комплекс информационной поддержки управления решением СОЗ, реализующий предложенные модель и методы, и оценить эффективность процесса решения СОЗ.

Научная новизна результатов

1. Предложена концепция информационной поддержки управления решением СОЗ, отличающаяся тем, что в ней СОЗ выделены в особый класс задач, а также тем, что концепция предполагает применение интеллектуального анализа сообщений об ошибках, технологий инженерии знаний, принципа иерархичности информационной ППР, что позволяет эффективно управлять процессом решения СОЗ (п. 1 паспорта специальности 05.13.10).

2. Разработан метод ППР при контроле результатов решения СОЗ с учетом декомпозиции на подпроцессы, отличающийся тем, что в нем используется справочник типовых сообщений об ошибках, сформированный на основе кластеризации уникальных сообщений, что позволяет ускорить процесс формирования отзыва по решению СОЗ, содержащего формулировку ошибок и рекомендации по их исправлению, а также сформировать подробную статистическую информацию о состоянии процесса, необходимую для решения задач управления (п. 10 паспорта специальности 05.13.10).

3. Предложен метод ППР при контроле процесса решения СОЗ в целом, отличающийся тем, что он базируется на выделении классов типовых ошибок, определении на основе данных классов источников проблем, степени их влияния на эффективность процесса решения СОЗ, а также выработке решений

посредством вывода на правилах, построенных с использованием когнитивной модели эффективности процесса решения СОЗ, что позволяет принимать решения по корректировке процесса решения СОЗ (п. 10 паспорта специальности 05.13.10).

4. Разработана модель оценки эффективности процесса решения СОЗ на основе метода ранжирования как метода экспертной оценки, отличающаяся тем, что она базируется на интегральном показателе, характеризующем процесс решения СОЗ в целом в виде хода и качества результата решения и его контроля, что позволяет оценить эффективность процесса решения СОЗ, учитывая работу как исполнителя, так и контролера (п. 3 паспорта специальности 05.13.10).

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложенные концепция, методы и модель расширяют область применения информационной поддержки при управлении решением СОЗ посредством применения интеллектуального анализа сообщений об ошибках.

Разработанный программный комплекс, реализующий предложенные методы и модель, может использоваться для информационной поддержки принятия решений в тех областях, где решаются СОЗ, и результат решения и отзыв по нему должны быть представлены в электронном виде, например, в экономике при выпуске электронной конструкторской документации, в науке при публикации научных статей и организации научных конференций, в образовании в дистанционном или смешанном обучении при ведении курсовых, лабораторных и др. работ. Программный комплекс внедрен в ООО «Цифровые машины», в научно-издательском центре ООО «Аэтерна», в АНО ДПО «Академия АйТи» (Уральский филиал), в ФГБОУ ВО «УГАТУ». Внедрение подтверждено соответствующими актами.

Методология и методы исследования. В исследовании использованы методы ППР, получения информации, теории управления, интеллектуального анализа текстов, инженерии знаний, экспертных оценок, статистические, системного анализа, методологии структурного и объектно-ориентированного программирования, объектного проектирования, теория баз данных (БД).

Положения, выносимые на защиту

1. Концепция информационной поддержки управления решением СОЗ на основе применения интеллектуального анализа сообщений об ошибках и технологий инженерии знаний.

2. Метод ППР при контроле результатов решения СОЗ с учетом декомпозиции на подпроцессы с использованием справочника типовых сообщений об ошибках, сформированного на основе кластеризации уникальных сообщений.

3. Метод ППР при контроле процесса решения СОЗ в целом, основанный на выделении классов типовых ошибок, использовании когнитивного моделирования эффективности процесса решения СОЗ и вывода на правилах.

4. Модель оценки эффективности процесса решения СОЗ на основе метода ранжирования как метода экспертной оценки.

5. Программный комплекс информационной поддержки управления решением СОЗ, реализующий предложенные модель и методы, а также результаты оценки эффективности процесса решения СОЗ.

Апробация результатов диссертационного исследования. Обсуждение основных результатов исследования проводилось на международных научных конференциях: «Информатизация инженерного образования» (Москва, 2020), «Технические науки: проблемы и перспективы» (Санкт-Петербург, 2015), «Современные тенденции технических наук» (Казань, 2015), «Технические науки: проблемы и перспективы» (Санкт-Петербург, 2011).

Публикации. Основные положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в 17 работах, из них 11 статей в реферируемых журналах, включенных в список ВАК РФ (5,48 п.л.), 1 доклад, индексированный в Scopus, 2 доклада. Получено 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора. Результаты исследования, представленные в диссертации, получены лично автором. Из публикаций, подготовленных в соавторстве, в диссертации представлен материал, принадлежащий лично автору.

Объем и структура диссертации. Работа состоит из 196 страниц, основной текст включает 142 страницы. Структура диссертации: введение, четыре главы, заключение, список литературы, приложения. Библиографический список содержит 122 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, связанная с низкой эффективностью процесса решения СОЗ, определены цели и задачи исследования, научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу проблемы управления процессом решения СОЗ. Рассмотрен процесс решения СОЗ, определено его место в бизнес-процессах организаций. Приведены примеры бизнес-процессов, включающих процессы решения СОЗ, и их особенности. Обосновано наличие проблемы низкой эффективности процесса решения СОЗ применительно к различным областям деятельности: экономике, науке и образованию. Рассмотрены существующие подходы к управлению процессом решения СОЗ в экономике (при выпуске электронной конструкторской документации для изготавливаемых устройств и оборудования), науке (при публикации научных статей и организации научных конференций), образовании (в процессе дистанционного обучения при ведении курсовых, лабораторных и практических работ; при публикации учебно-методических изданий). В существующих работах для конкретных задач предлагаются либо методы автоматического контроля результата решения СОЗ, либо методы интеллектуальной поддержки принятия решений и соответствующие программные средства. Однако данные методы и средства ограничены узким кругом СОЗ. В большей части существующих работ акцент делается на улучшение не всего процесса решения СОЗ, а одной его части: на ускорение процедуры контроля результата решения. Сокращение времени выполнения задачи исполнителем при этом не достигается, а в некоторых случаях происходит обратный эффект. Это связано с тем, что при использовании существующих методов и средств отзыв по решению СОЗ либо не формируется вообще, либо является обобщенным, показывающим отклонения по ряду критериев, и не может служить руководством к действию исполнителя по корректировке решения СОЗ.

Вторая глава посвящена разработке концепции информационной поддержки управления решением СОЗ, а также разработке методов ППР при контроле результатов решения СОЗ с учетом декомпозиции на подпроцессы и при контроле процесса решения СОЗ в целом.

Предлагаемая **концепция информационной поддержки управления решением СОЗ** базируется на положениях, которые предполагают: выделение СОЗ в особый класс задач; применение системного и процессного подхода, интеллектуального анализа сообщений об ошибках (кластеризации сообщений) и формирования классов типовых сообщений, технологий инженерии знаний, а также принципа иерархичности информационной поддержки принятия решений при управлении процессом решения СОЗ. Кроме того, применяются классы методов и моделей: модели инженерии знаний (нечеткие когнитивные и продукционные модели), методы кластеризации текстов, теоретико-множественные модели, методы экспертных оценок. Содержание предложенных положений заключается в следующем.

Выделение класса задач – СОЗ. СОЗ – это задачи, для которых характерна сложность и открытость. Под «сложностью» понимается многоэлементность и уникальность решения задачи, содержащего элемент творчества, правильность которого нельзя проверить простым сопоставлением с эталоном. Под «открытостью» понимается такая формулировка условия задачи, при которой в условии не приводится вариантов ее решения. СОЗ представляет собой множество:

$$\text{СОЗ} = \{\Phi, T\}, \quad (1)$$

где Φ – формулировка задачи; T – множество требований к решению задачи.

Множество требований к решению задачи T имеет вид:

$$T = \{TC, TЭ\}, \quad (2)$$

где TC – требуемая структура решения задачи; $TЭ$ – множество требований к элементам решения.

Результат решения задачи j -м исполнителем P_j – это множество:

$$P_j = \{CP_j, Э_j\}; j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

где CP_j – структура решения j -го исполнителя; $Э_j$ – множество элементов решения j -го исполнителя; n – количество исполнителей.

Решение P_j является правильным, если структура CP_j изоморфна структуре TC и множество $Э_j$ соответствует множеству $TЭ$.

Применение системного и процессного подхода. Согласно системному подходу предполагается проведение формализации, построение структуры процесса решения СОЗ, в рамках которой должны быть выделены этапы процесса и построен его алгоритм. В качестве этапов выступают процедуры по подготовке решения, осуществляемые исполнителем, и процедуры по контролю результата решения, осуществляемые контролером. Согласно процессному подходу предполагается определение документов, регламентирующих процесс, установление требований к качеству результата решения, определение показателей эффективности процесса и их допустимых значений. Владельцем процесса осуществляется контроль за значением данных показателей.

Применение интеллектуального анализа сообщений об ошибках (кластеризации сообщений) и формирования классов типовых сообщений. Уникальные сообщения об ошибках исполнителей подвергаются обработке: сначала они кластеризируются, в результате чего выявляются типовые сообщения. Затем выделяются классы типовых ошибок и проводится классификация типовых сообщений по данным классам.

Применение технологий инженерии знаний. Для информационной поддержки используются знания экспертов по управлению процессом решения СОЗ, формализованные в виде продукционных правил, формирующих базу знаний (БЗ). Для поиска решений по корректировке процесса осуществляется запрос к данной БЗ.

Применение принципа иерархичности информационной ППР при управлении процессом решения СОЗ. Информационная ППР осуществляется на двух уровнях иерархической системы управления (СУ). На нижнем уровне осуществляется ППР при контроле результата решения СОЗ, на верхнем – при контроле процесса решения СОЗ. Модель СУ нижнего уровня представлена на рисунке 1. На нижнем уровне управления ЛПР является контролер. Он осуществляет контроль правильности результата решения исполнителя согласно заданным требованиям. После анализа работы исполнителя контролер принимает решение, используя типовые сообщения об ошибках из справочника, сформированные на основе кластеризации уникальных, и предпринимает соответствующее управляющее воздействие U_b :

$$U_b = U_{bf} \oplus U_{br} \oplus U_{bn}, \quad (4)$$

где U_{bf} – завершение процесса, U_{br} – перевод на повторное решение задачи (подзадачи) с выдачей отзыва со списком сообщений об ошибках; U_{bn} – перевод на решение следующей подзадачи. Под знаком \oplus понимается исключающее ИЛИ.

Модель СУ верхнего уровня представлена на рисунке 2. На верхнем уровне управления ЛПР является владелец процесса, который анализирует контролируемый процесс решения СОЗ. Он принимает решение по корректировке процесса на основе решений, предлагаемых модулем ППР, использующим БЗ. Решения формируются на базе собранной статистики по контролю результатов решения СОЗ исполнителями на протяжении учетного периода и классификации типовых сообщений об ошибках. Анализируя сформированные решения по корректировке процесса, владелец процесса предпринимает соответствующие управляющие воздействия множества U_t :

$$U_t = \{U_{tr}, U_{ta}, U_{tm}\}, \quad (5)$$

где U_{tr} – корректировка рекомендаций по исправлению ошибок; U_{ta} – корректировка алгоритма процесса решения СОЗ; U_{tm} – множество корректировок состава и содержания материалов по решению СОЗ.

Корректировка рекомендаций по исправлению ошибок U_{tr} определяется так:

$$U_{tr} = U_{trc} \oplus U_{trn}, \quad (6)$$

где U_{trc} – корректировать рекомендации по исправлению ошибок; U_{trn} – не корректировать рекомендации по исправлению ошибок.

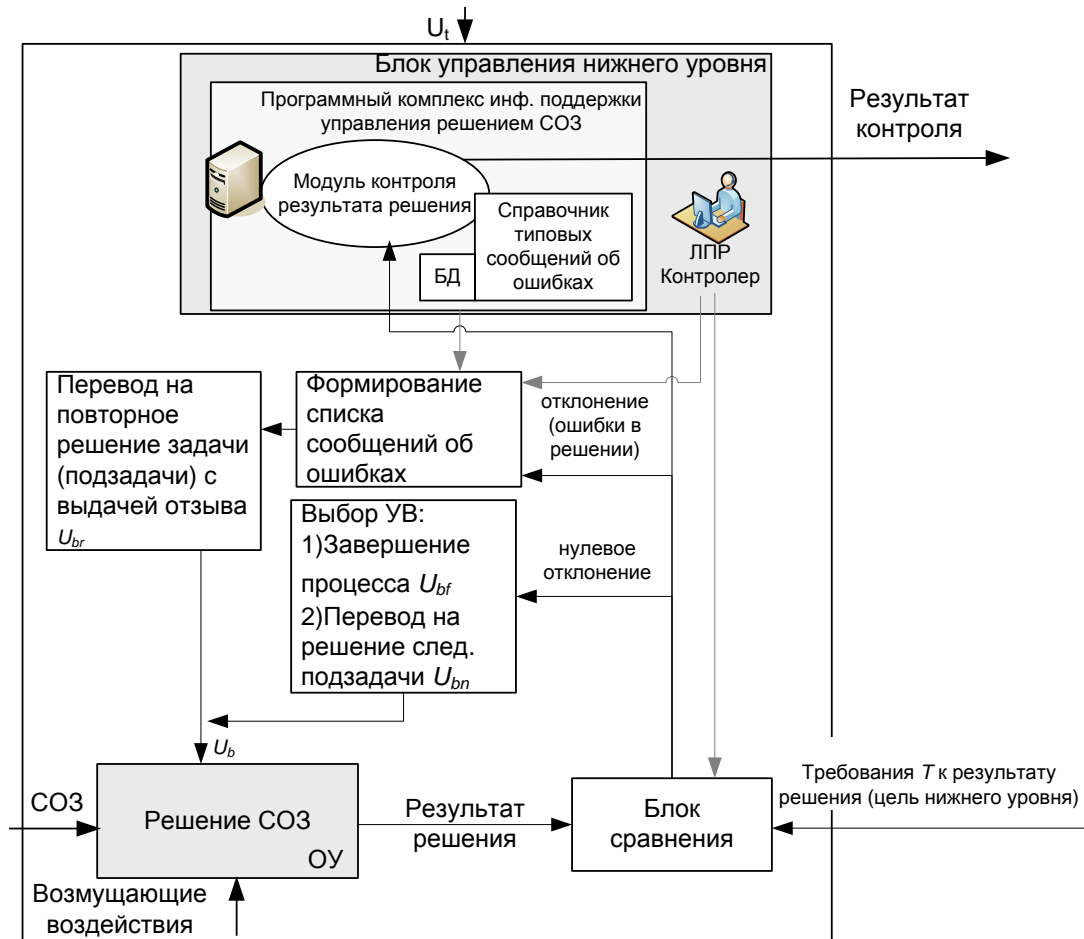


Рисунок 1 – Модель СУ процессом решения СО₂ нижнего уровня с ППР

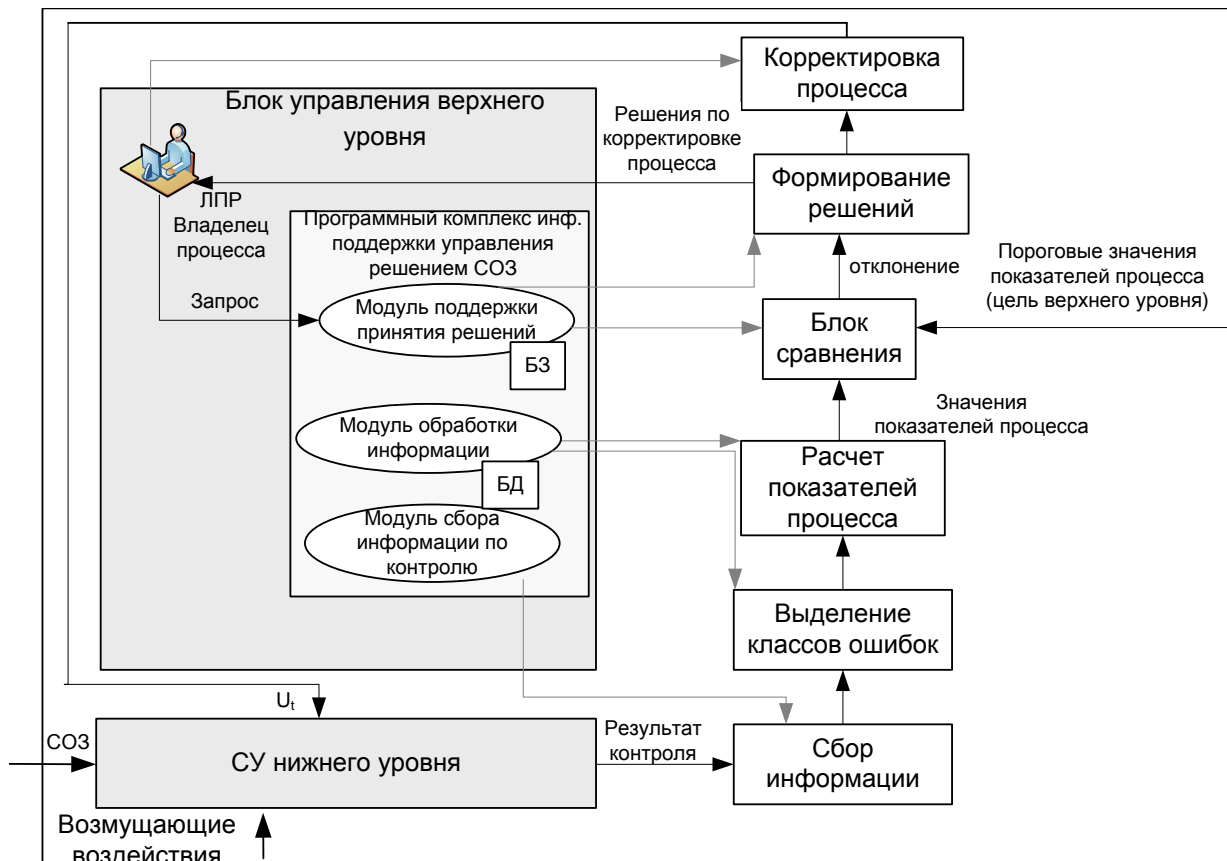


Рисунок 2 – Модель СУ процессом решения СО₂ верхнего уровня с ППР

Корректировка алгоритма процесса U_{ta} определяется так:

$$U_{ta} = U_{tad} \oplus U_{tan}, \quad (7)$$

где U_{tad} – разбить задачу (подзадачу) на две части; U_{tan} – не разбивать задачу (подзадачу) на две части.

Множество корректировок состава и содержания материалов по решению СОЗ U_{tm} :

$$U_{tm} = \{U_{mt}, U_{mb}, U_{mf}\}, \quad (8)$$

где U_{mt} – корректировка материала текущей задачи; U_{mb} – корректировка материала бэкграунда (материала, которым должен владеть исполнитель до начала решения задачи); U_{mf} – корректировка текста формальных требований к решению.

Корректировка материала текущей задачи U_{mt} определяется так:

$$U_{mt} = U_{mtt} \oplus U_{mtl} \oplus U_{mtn}, \quad (9)$$

где U_{mtt} – корректировать материал текущей задачи в общем; U_{mtl} – корректировать материал текущей задачи локально; U_{mtn} – не корректировать материал текущей задачи.

Корректировка материала бэкграунда U_{mb} определяется так:

$$U_{mb} = U_{mba} \oplus U_{mbt} \oplus U_{mbl} \oplus U_{mbn}, \quad (10)$$

где U_{mba} – создать материал бэкграунда; U_{mbt} – корректировать материал бэкграунда в общем; U_{mbl} – корректировать материал бэкграунда локально; U_{mbn} – не корректировать материал бэкграунда.

Корректировка текста формальных требований к решению U_{mf} определяют так:

$$U_{mf} = U_{mft} \oplus U_{mfl} \oplus U_{mfn}, \quad (11)$$

где U_{mft} – корректировать текст формальных требований в общем; U_{mfl} – корректировать текст формальных требований локально; U_{mfn} – не корректировать текст формальных требований.

Ограничения по применимости концепции. Концепцию можно использовать, если результат решения СОЗ и отзыв по нему должны быть представлены в электронном виде, а также результат решения должен иметь заданную структуру.

Предлагаемый метод ППР при контроле результатов решения СОЗ с учетом декомпозиции на подпроцессы базируется на применении справочника типовых сообщений об ошибках при формировании отзыва исполнителю. Справочник типовых сообщений об ошибках i -й задачи CO_i – это множество:

$$CO_i = \{O_{ik}\}; k = 1, 2, \dots, g, \quad (12)$$

где O_{ik} – множество типовых сообщений об ошибках k -й подзадачи; g – количество подзадач.

Типовые сообщения об ошибках хранятся в структурированном виде:

$$O_{ik} = \{OBL_{ikm}\}; m = 1, 2, \dots, w, \quad (13)$$

где OBL_{ikm} – множество ошибок m -го блока; w – количество блоков.

Справочник CO_i хранится в БД системы контроля результата решения СОЗ. Отзыв исполнителю по решению k -й подзадачи OP_{ik} – это множество:

$$OP_{ik} = \{OI_{ik}\}, \quad (14)$$

где OI_{ik} – множество типовых сообщений об ошибках исполнителя для k -й подзадачи.

$$OI_{ik} \subseteq O_{ik}. \quad (15)$$

Формирование справочника типовых сообщений об ошибках проводится по шагам: формирование множества уникальных сообщений об ошибках по результатам ручной проверки, кластеризация уникальных сообщений об ошибках, формулирование типовых сообщений об ошибках на основе полученных кластеров, создание справочника типовых сообщений и его заполнение.

ППР при контроле результата решения СОЗ с использованием справочника типовых сообщений осуществляется следующим образом:

- 1) при выявлении ошибки в решении i -й задачи k -й подзадачи контролер выбирает элемент решения, к которому она относится (m -й блок);
- 2) система выводит все типовые сообщения, относящиеся к данному элементу решения ОБЛ $_{ikm}$ из справочника СО $_i$;
- 3) контролер выбирает типовое сообщение СТ ϵ ОБЛ $_{ikm}$, соответствующее выявленной ошибке.

При осуществлении контроля результата решения СОЗ информация о выявленных ошибках сохраняется в структурированном виде и с привязкой к типовым сообщениям, размещенным в справочнике СО $_i$ i -й задачи. Создается протокол проверки ПР $_{ik}$, по которому генерируется отзыв ОР $_{ik}$. Протокол контроля ПР $_{ik}$ – это кортеж:

$$ПР_{ik} = \{OI_{ik}, И, НП, ДН, ДК, УП\}, \quad (16)$$

где И – исполнитель; НП – номер попытки; ДН – дата и время создания протокола; ДК – дата и время окончания контроля; УП – учетный период.

Протокол проверки ПР $_{ik}$ сохраняется в БД системы контроля результата решения СОЗ.

Формирование протокола проверки ПР $_{ik}$ осуществляется по шагам:

- 1) формирование пустого протокола проверки;
- 2) при выявлении ошибки переход к шагу 3, в противном случае – к шагу 8;
- 3) выбор блока, к которому относится выявленная ошибка;
- 4) выбор типового сообщения об ошибке, к которому относится ошибка;
- 5) если необходим комментарий к типовому сообщению, то переход к шагу 6, в противном случае – к шагу 7;
- 6) добавление комментария к типовому сообщению;
- 7) добавление типового сообщения в протокол, переход к шагу 2;
- 8) проставление отметки об окончании проверки.

Кластеризация уникальных сообщений проводится с использованием алгоритма Lingo ввиду его способности осуществлять кластеризацию небольших текстов (содержащих 1-2 предложения) и генерировать осмысленные названия кластеров, которые описывают их тематику. Данный алгоритм создан и используется только для кластеризации сниппетов (результатов веб-поиска, списка документов, возвращаемых интернет-поисковиками). Автором предлагается адаптировать алгоритм и использовать его в качестве инструмента,

позволяющего осуществлять кластеризацию сообщений об ошибках, в составе метода ППР при контроле результатов решения СОЗ. Кластеризация сообщений об ошибках на основе алгоритма Lingo проводится так:

1) предобработка сообщений об ошибках: извлечение текста отзывов и уникальных сообщений об ошибках, замена в тексте сообщений фраз-терминов предметной области сложными словами или их аббревиатурами (2 подшага, внесенные автором), токенизация, выделение стоп-слов, стемминг;

2) идентификация в сообщениях часто встречающихся фраз и термов с использованием суффиксных массивов;

3) определение названий кластеров на основе Latent Semantic Indexing;

3.1) построение матрицы «терм-документ» M , элементы которой m_{ij} определяют по формуле:

$$m_{ij} = tf_{ij} \cdot \log(n/df_i), \quad (17)$$

где tf_{ij} – частота терма, отношение числа вхождений i -го терма к общему числу термов в j -м сообщении об ошибках; n – общее количество сообщений об ошибках; df_i – количество сообщений об ошибках с i -м термом;

3.2) определение абстрактных концептов на основе сингулярного разложения матрицы M и получения ее k -ранговой аппроксимации M_k ;

3.3) определение соответствия абстрактных концептов часто встречающейся фразе с использованием матрицы D :

$$D = U_k^T \cdot L, \quad (18)$$

где U_k – матрица $k \times t$, в которой столбцами являются первые k столбцов ортогональной матрицы $t \times t$ с вектор-столбцами – левыми сингулярными векторами матрицы M ; L – матрица $t \times (p+t)$, схожая с матрицей «терм-документ», построенная из часто встречающихся фраз и термов по схеме $tf-idf$ и нормированная;

3.4) сокращение кандидатов названий кластеров;

4) определение содержимого кластеров на основе матрицы C :

$$C = Q^T \cdot M, \quad (19)$$

где Q – матрица, в которой вектор-столбец представляет название кластера;

5) финальное формирование кластеров с учетом оценки названия кластера и количества членов кластера.

Оценка кластеризации осуществляется с помощью экспертной оценки на основе показателей: качество размещения сообщений по кластерам q_1 и пригодность выделенных кластеров для определения типовых сообщений об ошибках (соответствие одному элементу решения или связи между элементами) q_2 . Показатель q_2 введен автором. Показатель q_1 вычисляется по формуле:

$$q_1 = \frac{a}{a + b}, \quad (20)$$

где a – общее количество типовых сообщений об ошибках, соответствующих кластерам; b – общее количество типовых сообщений об ошибках, не соответствующих кластерам или соответствующих им частично.

Показатель q_2 вычисляется по формуле:

$$q_2 = \frac{d}{e}, \quad (21)$$

где d – количество «годных» кластеров для определения типовых сообщений об ошибках; e – общее количество выделенных кластеров.

Предлагаемый метод ППР при контроле процесса решения СОЗ в целом базируется на выделении классов типовых ошибок и определении на основе данных классов источников проблем, степени их влияния на эффективность процесса решения СОЗ и выработки решений посредством вывода на правила, построенных с использованием когнитивной модели эффективности процесса решения СОЗ. Метод включает этапы: классификация типовых сообщений об ошибках в справочнике по типу ошибок владельцем процесса, расчет показателей процесса решения СОЗ, выявление отклонений значений показателей процесса решения, поиск причин отклонения значений показателей процесса, формирование решений. Последние три шага осуществляются с помощью использования продукционных правил.

Множество типовых сообщений об ошибках O_{ik} в справочнике типовых сообщений после классификации:

$$O_{ik} = OT_{ik} \cup OB_{ik} \cup OF_{ik}, \quad (22)$$

где OT_{ik} – множество сообщений об ошибках текущей задачи; OB_{ik} – множество сообщений об ошибках, связанных с бэкграундом (бэкграунд-ошибках); OF_{ik} – множество сообщений об ошибках, не связанных со знаниями, умениями и владениями (неЗУВ-ошибках).

Для выявления проблем в процессе решения СОЗ проводится анализ значений показателей процесса. Множество показателей X имеет вид:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}, \quad (23)$$

где x_1 – доля повторяющихся ошибок; x_2 – число проверок (сколько раз проверяется решение СОЗ одного исполнителя); x_3 – число ошибок в решении; x_4 – доля бэкграунд-ошибок; x_5 – доля неЗУВ-ошибок; x_6 – доля неустранимых ошибок, допускаемых при повторном решении.

Для получения пороговых и максимальных значений показателей используется групповая экспертиза и экспертный метод «анкетирование с обратной связью». В результате сравнения с пороговыми значениями определяются те показатели, значения которых не допустимы.

Для выявления отклонений в значениях показателей процесса, причин отклонений и определения решения используется когнитивная и продукционная модель. Когнитивная модель эффективности процесса решения СОЗ M – это граф:

$$M = (Ц, У, Д), \quad (24)$$

где $Ц$ – множество вершин-целевых факторов; $У$ – множество вершин-входных факторов (источников возникновения отклонений); $Д$ – множество взвешенных дуг-причинно-следственных связей.

Множество целевых факторов $Ц$ соответствует множеству показателей процесса X и имеет вид:

$$Ц = \{Ц_i\}; Ц_i = x_i; i = 1, 2, \dots, 6. \quad (25)$$

Множество входных факторов (источников возникновения отклонений) $У$ имеет вид:

$$У = \{У_1, У_2, У_3, У_4, У_5\}, \quad (26)$$

где $У_1$ – ясность и полнота изложения материала; $У_2$ – ясность рекомендаций по исправлению; $У_3$ – сложность задания; $У_4$ – пробелы в бэкграунде; $У_5$ – ясность и полнота изложения формальных требований.

На рисунке 3 представлена когнитивная модель эффективности процесса решения СОЗ, построенная в программе Mental Modeler. Веса дуг на когнитивной модели получены посредством попарной оценки, используемой в методе анализа иерархий. Управление целевыми факторами происходит с помощью воздействия владельца процесса на входные факторы, которые действуют на целевые.

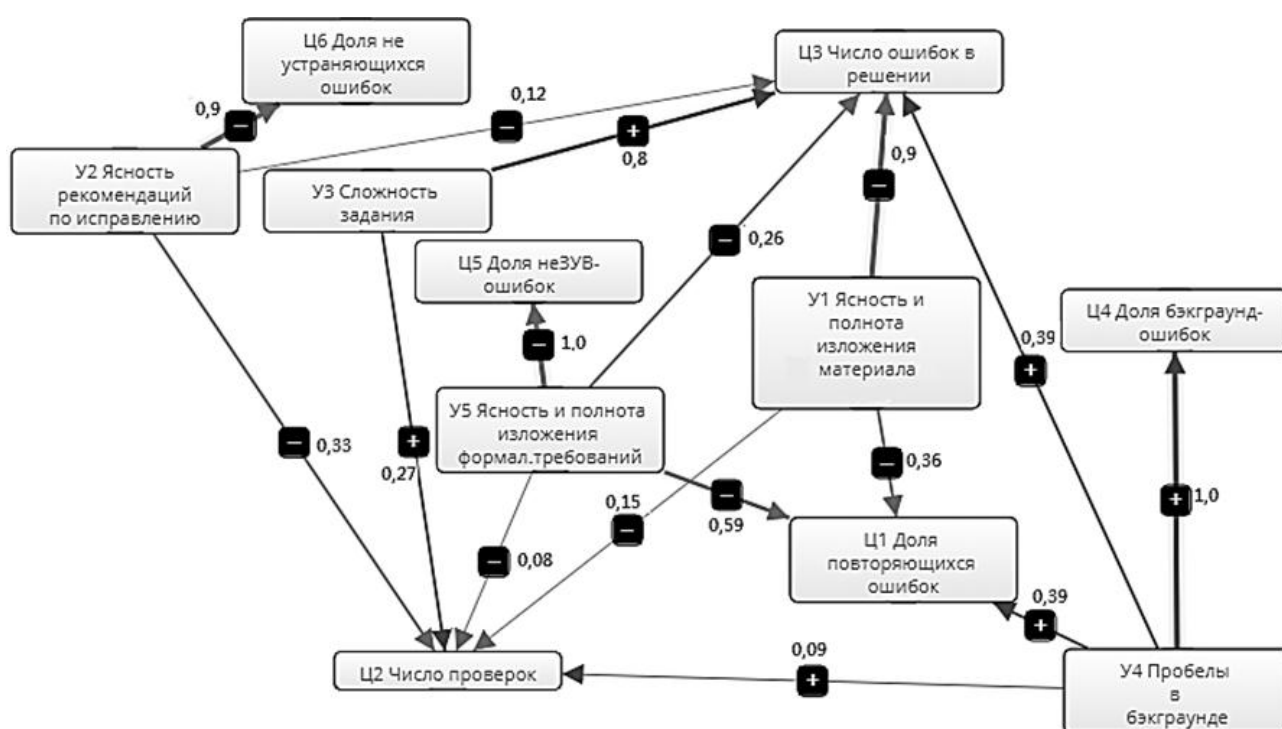


Рисунок 3 – Когнитивная модель эффективности процесса решения СОЗ

На основе когнитивной модели строится производственная модель, позволяющая определять варианты решений по корректированию процесса решения СОЗ. Используя когнитивную модель, определяют причины отклонений значений показателей процесса и формируют правила поиска причин отклонений. Представлены три типа правил: правила поиска отклонений значений показателей процесса решения СОЗ, правила поиска причин отклонений значений показателей, правила корректировки процесса решения СОЗ. Примеры правил:

ЕСЛИ значение показателя «доля повторяющихся ошибок» $\geq 45\%$ *ТО* повторение ошибок недопустимо

ЕСЛИ повторение ошибок недопустимо *И* есть неЗУВ-ошибки с недопустимым повторением *ТО* есть проблема в ясности формальных требований локальная

ЕСЛИ нет проблемы в ясности формальных требований локальной *И* нет проблемы в ясности формальных требований общей *ТО* не надо изменять формальные требования.

Правила реализуются посредством логического программирования, с помощью языка Пролог. Правила заносятся в программу и составляют БЗ. Решения определяются посредством логического вывода интерпретатором Пролог. Помимо формирования решений выводится соответствующее множество типовых сообщений об ошибках из справочника. Например, при $U_{mt} = U_{mt}$ выводится множество сообщений OT_{ik} , при $U_{mb} = U_{mbt} - OB_{ik}$, при $U_{mf} = U_{mft} - OF_{ik}$.

Третья глава посвящена разработке **программного комплекса информационной поддержки управления решением СОЗ**. Представлены требования к программному комплексу, его проект, а также описана его реализация. Для разработки проектных моделей использована нотация UML. Модели представлены диаграммами вариантов использования, деятельности, классов, компонентов и развертывания. Программный комплекс состоит из двух компонентов: подсистемы контроля результата решения СОЗ и подсистемы ППР при контроле процесса. Для реализации программного комплекса использованы веб-технологии с ручной разработкой программного кода: HTML, CSS, JavaScript, Ajax, PHP. Данный способ реализации выбран из других возможных с помощью метода анализа иерархий с использованием программы SuperDecisions. Для осуществления логического вывода на правилах при определении решений используется интерпретатор Пролог Tau Prolog, разработанный на JavaScript. Данный интерпретатор интегрируется в веб-приложение посредством включения в подсистему ППР соответствующей JavaScript-библиотеки. В качестве СУБД выбрана MySQL. При реализации, тестировании и внедрении программного комплекса используется локальный сервер Denwer. Для кластеризации сообщений об ошибках применяется Carrot2, реализующий алгоритм кластеризации Lingo.

Четвертая глава посвящена построению модели оценки эффективности процесса решения СОЗ и анализу результатов внедрения методов, описанных в главе 2. При внедрении использовался разработанный программный комплекс, описанный в главе 3. Предлагаемая **модель оценки эффективности процесса решения СОЗ на основе ранжирования как метода экспертной оценки** базируется на интегральном показателе, характеризующем процесс решения СОЗ в целом в виде хода процесса и качества результата решения и его контроля. Эффективность процесса решения СОЗ оценивается показателями $x_1 \dots x_6$, определяемыми для каждого подпроцесса, значения которых свернуты в интегральную оценку. Модель интегральной оценки строится по шагам, на которых определяются: тип свертки показателей подпроцесса в интегральный и веса показателей, формула расчета интегральной оценки подпроцесса, способ нормирования абсолютных значений показателей, тип свертки интегральных оценок подпроцессов и формула вычисления интегральной оценки процесса. Интегральная оценка i -го подпроцесса X_i вычисляется по формуле:

$$X_i = \sum_{q=1}^m p_q x_{n_{qi}} \text{ при } \sum_{q=1}^m p_q = 1, p_q \in [0; 1], \quad (27)$$

где x_{nqi} – нормированное значение q -го показателя i -го подпроцесса; m – количество показателей, $m = 6$; p_q – вес q -го показателя.

Для определения веса показателей процесса используется метод ранжирования. Для оценки согласованности мнений экспертов при ранжировании показателей используется дисперсионный коэффициент конкордации. Его значение существенно с 1%-м уровнем значимости. Вес q -го показателя p_q определяется по формуле:

$$p_q = \frac{r_q^*}{\sum_{q=1}^m r_q^*} \text{ при } \sum_{q=1}^m p_q = 1, p_q \in [0; 1], \quad (28)$$

где r_q^* – сумма рангов q -го показателя при ранжировании в обратном порядке.

Сумму рангов q -го показателя r_q^* вычисляют по формуле:

$$r_q^* = \sum_{h=1}^l r_{qh}^*, \quad (29)$$

где r_{qh}^* – ранг, присвоенный q -му показателю h -м экспертом при ранжировании в обратном порядке; l – количество экспертов, $l = 5$.

После расчета веса показателей по формуле (28) формула (27) вычисления интегральной оценки i -го подпроцесса X_i принимает вид:

$$X_i = 0,243x_{n_{1i}} + 0,2x_{n_{2i}} + 0,233x_{n_{3i}} + 0,114x_{n_{4i}} + 0,086x_{n_{5i}} + 0,124x_{n_{6i}}. \quad (30)$$

Показателями для оценки процесса являются интегральные оценки подпроцессов. Формула расчета интегральной оценки процесса решения СОЗ X_c :

$$X_c = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s X_i \quad (31)$$

где s – количество подпроцессов в процессе решения СОЗ.

Программный комплекс информационной поддержки управления решением СОЗ, реализующий предложенные модель и методы, внедрен в ООО «Цифровые машины», в научно-издательском центре ООО «Аэтерна», в АНО ДПО «Академия АйТи» (Уральский филиал), в ФГБОУ ВО «УГАТУ». В результате внедрения повышена эффективность процесса решения СОЗ на 12,5 %.

В заключении представлены основные результаты исследования и выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

В ходе научного исследования получены следующие результаты:

1) разработана концепция информационной поддержки управления решением СОЗ. В концепции выделен особый класс задач в виде СОЗ, также концепция предполагает применение интеллектуального анализа сообщений об ошибках, технологий инженерии знаний, принципа иерархичности информационной ППР. Использование концепции позволяет эффективно управлять процессом решения СОЗ;

2) разработан метод ППР при контроле результатов решения СОЗ с учетом декомпозиции на подпроцессы. Метод основан на использовании справочника типовых сообщений об ошибках, сформированного на основе кластеризации уникальных сообщений. Применение метода позволяет ускорить процесс формирования отзыва по решению СОЗ, содержащего формулировку ошибок и рекомендации по их исправлению, а также сформировать подробную статистическую информацию о состоянии процесса, необходимую для решения задач управления;

3) разработан метод ППР при контроле процесса решения СОЗ в целом. Метод базируется на выделении классов типовых ошибок, определении на основе данных классов источников проблем, степени их влияния на эффективность процесса решения СОЗ, а также выработке решений посредством вывода на правила, построенных с использованием когнитивной модели эффективности процесса решения СОЗ. Использование метода позволяет принимать решения по корректировке процесса решения СОЗ;

4) разработана модель оценки эффективности процесса решения СОЗ на основе метода ранжирования как метода экспертной оценки. Модель базируется на интегральном показателе, характеризующем процесс решения СОЗ в целом в виде хода и качества результата решения и его контроля. Использование модели позволяет оценить эффективность процесса решения СОЗ, учитывая работу как исполнителя, так и контролера;

5) разработан программный комплекс информационной поддержки управления решением СОЗ, реализующий предложенные модель и методы. Программный комплекс внедрен в ООО «Цифровые машины», в научно-издательском центре ООО «Аэтерна», в АНО ДПО «Академия АйТи», в ФГБОУ ВО «УГАТУ». В результате повышен интегральный показатель эффективности процесса решения СОЗ в среднем на 12,5 %.

Перспективы дальнейшего развития результатов исследования. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение области применения предлагаемых методов, а также увеличение доли автоматизации при управлении решением СОЗ.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. **Латыпова В.А.** Поддержка принятия решений на базе кластеризации сообщений об ошибках для контроля качества выполнения сложных открытых задач//Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т.8. №3. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=828.

2. **Латыпова В.А., Мартынов В.В.** Метод и программное средство сбора информации при управлении процессом дистанционного обучения на основе автоматизированной проверки решения сложных открытых задач с использованием банка ошибок//Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т.7. №4. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=708.

3. **Латыпова В.А.** Концепция управления процессом дистанционного автоматизированного обучения при решении сложных открытых задач с использованием банка ошибок//Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т.7. №3. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=657.

4. **Латыпова В.А.** Получение информации при управлении процессом дистанционного обучения на основе проверки решения сложных открытых задач//Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т.7. №3. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=659.

5. **Латыпова В.А., Тюрганов А.Г.** Методика управления обучением на основе классификации ошибок в сложных открытых задачах// Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4533.

6. **Латыпова В.А.** Выбор оптимального способа реализации инструментального средства управления обучением с помощью метода анализа иерархий// Инженерный вестник Дона. 2017. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4120.

7. **Латыпова В.А.** Оценка эффективности процесса обучения при наличии сложных открытых задач с помощью экспертных методов// Инженерный вестник Дона. 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3540.

8. **Латыпова В.А.** Корректировка модели обучения на основе результатов анализа отклонений процесса обучения, проводимого на базе когнитивной и продукционной модели//Инженерный вестник Дона. 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3541.

9. **Латыпова В.А.** Методика и инструментальное средство автоматизированной проверки работ со сложным результатом на основе использования банка ошибок//Наука и бизнес:пути развития.2015.№7(49).С.41-47.

10. **Латыпова В.А.** Сложные открытые задачи в смешанном и дистанционном автоматизированном обучении// Инженерный вестник Дона. 2015. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3211.

11. **Латыпова В.А.** Управление процессом обучения на основе процессного подхода при автоматизированной проверке сложных открытых задач // Интернет-журнал «Науковедение».2015.Т.7. №6. URL: naukovedenie.ru/PDF/147TVN615.pdf.

В изданиях, индексируемых в Scopus

12. **Latypova V., Martynov V., Turganov A.** Decision support system in online training process management for implementing complex open ended assignments in engineering education //2020 V International conference on information technologies in engineering education (Inforino). 2020. URL: ieeexplore.ieee.org/document/9111821.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

13. **Латыпова В.А.** Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ №2019663469. Программа сбора информации при управлении процессом обучения при решении сложных открытых задач. Зарег. 17октября 2019.М.: Роспатент, 2019.

14. **Латыпова В.А.** Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ №2016615401. Программа: СППР в обучении. Зарег. 23 мая 2016.М.: Роспатент, 2016.

15. **Латыпова В.А.** Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ №2016611178. Программа: Банк ошибок.Зарег. 27 января 2016.М.: Роспатент, 2016.

В других изданиях:

16. **Латыпова В.А., Тюрганов А.Г.** Обучение человека и машины// Современные тенденции технических наук: мат. IV междунар. н. конф., Казань, 2015. Казань: Бук, 2015. С. 13-16.

17. **Латыпова В.А., Тюрганов А.Г.** Эффективная форма дистанционного обучения // Технические науки: проблемы и перспективы: мат. III междунар. н. конф., Санкт-Петербург, 2015. СПб.: Свое издательство, 2015. С.16-19.

Диссертант



Латыпова В.А.