

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

В. А. Латыпова

Аннотация. Представлен обзор результатов исследования поддержки принятия решений (ППР) при управлении решением сложных открытых задач (СОЗ). Предметом исследования являются методы и программные средства ППР при управлении решением СОЗ с использованием интеллектуальных технологий. Цель — повышение эффективности процесса решения СОЗ на основе обеспечения информационной поддержки с использованием интеллектуального анализа сообщений об ошибках. Для достижения цели потребовалось 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.

Ключевые слова: поддержка принятия решений; сложная открытая задача; управление решением задач; интеллектуальный анализ сообщений.

ВВЕДЕНИЕ

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 других 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 И ОБСУЖДЕНИЕ РЕШАЕМОЙ ЗАДАЧИ

Вопросам управления решением СОЗ в экономике посвящены работы В. В. Антонова [1], П. Н. Воронковой [2], Д. К. Елтышева [3], С. Е. Кондратьева [4], В. А. Огородова [5].

Вопросам управления решением СОЗ в науке посвящены работы Э. И. Блес [6], А. Г. Кравец [7], О. С. Логуновой [8–9], С. В. Тархова [10], С. А. Фоменкова [11–12], D. Heaven [13], J. V. Huang [14], K. Kihong [15].

Вопросам управления решением СОЗ в образовании посвящены работы С. Н. Алексева [16], С. Н. Васильева [17], Р. Н. Дятлова [18], Ю. А. Крапивко [19], Л. А. Кулыгиной [20–21], В. В. Лаптева [22], Е. Г. Мальковой [23], А. Н. Ростовцева [24], A. Ade-Ibijola [25], S. Alber [26], S. Balfour [27], A. Chauhan [28], J. Docktor [29], S. Drasutis [30], S. Faletic [31], K. Goh [32], Y. Lu [33], C. Piech [34], C. Willems [35] и др.

Вопросам процессного управления в организациях посвящены работы В. Г. Елиферова, В. В. Репина [36]. Вопросам поддержки принятия решений (ППР) в социально-экономических системах посвящены работы А. В. Аверченкова [37], Л. С. Лисицыной [38], Е. А. Макаровой [39], В. Г. Наводнова [40], М. М. Низамутдинова [41], Д.А. Ризванова [42], Л. Р. Черняховской [43], Т. М. Шамсутдиновой [44], О. Н. Сметаниной, Н. И. Юсуповой [45] 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 данного исследования является ППР при управлении решением СОЗ. Предмет исследования – методы и программные средства ППР при управлении решением СОЗ с использованием интеллектуальных технологий. Цель – повышение эффективности процесса решения СОЗ на основе обеспечения информационной поддержки с использованием интеллектуального анализа сообщений об ошибках.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие 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.

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).

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕШЕНИЯ СОЗ

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.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕШЕНИЕМ СОЗ

Предлагаемая концепция информационной поддержки построена на основе концепции управления процессом дистанционного обучения при решении СОЗ [46] и 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 заключаются в следующем.

Выделение класса задач – СОЗ. СОЗ – это задачи, для которых характерна сложность и открытость. Под «сложностью» понимаются 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 $TЭ$.

В [47] автором впервые вводится понятие «СОЗ» в области дистанционного обучения и приводится классификация СОЗ, характерная для такого обучения. В данной работе автором предлагается расширить область применения понятия «СОЗ», не ограничивая его сферой образования и процессом дистанционного обучения.

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 владеец 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, владеец 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.

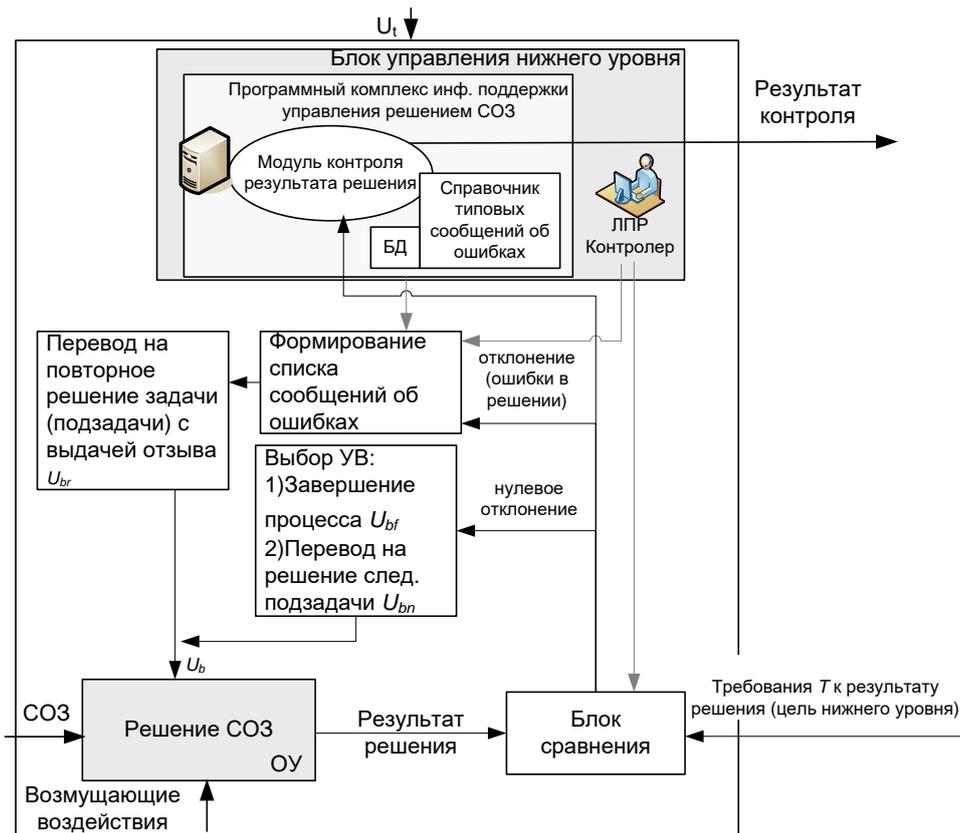


Рис. 1 Модель СУ процессом решения СОЗ нижнего уровня с ППР.

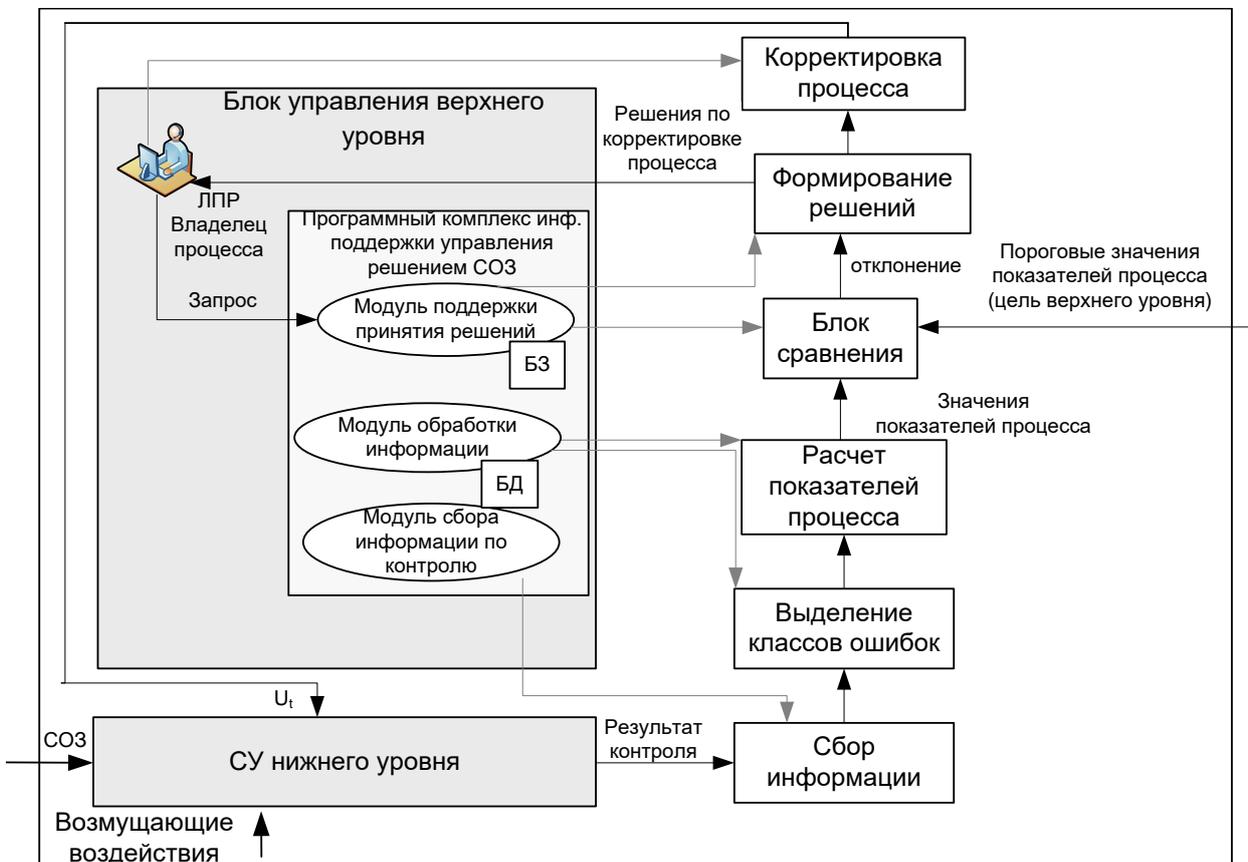


Рис. 2 Модель СУ процессом решения СОЗ верхнего уровня с ППР.

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:

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

где U_{mtt} – корректировать материал текущей задачи в общем, U_{mtl} – корректировать материал текущей задачи локально, U_{mtm} – 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.

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

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

где U_{mft} – корректировать текст формальных требований в общем, U_{mfl} – корректировать текст формальных требований локально, U_{mfjn} – 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.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ППР ПРИ КОНТРОЛЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ СОЗ С УЧЕТОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ НА ПОДПРОЦЕССЫ

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. Апробация метода представлена в [48].

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:

- при выявлении ошибки в решении i -й задачи k -й подзадачи контролер выбирает элемент решения, к которому она относится (m -й блок);
- система выводит все типовые сообщения, относящиеся к данному элементу решения ОБЛ $_{ikm}$ из справочника СО $_i$;
- контролер выбирает типовое сообщение СТ \in 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. Ранее автором предлагалось сохранять информацию таким способом для процесса решения СОЗ при дистанционном обучении [49, 50]. В данной работе предлагается обобщенное решение, не зависящее от типа СОЗ.

Создается протокол проверки ПР $_{ik}$, по которому генерируется отзыв ОР $_{ik}$. Протокол контроля ПР $_{ik}$ – это кортеж

$$\text{ПР}_{ik} = \{\text{ОИ}_{ik}, \text{И}, \text{НП}, \text{ДН}, \text{ДК}, \text{УП}\}, \quad (16)$$

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 [51] 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:

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

где tf_{ij} – частота термина, отношение числа вхождений i -го термина 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.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ППР ПРИ КОНТРОЛЕ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ СОЗ В ЦЕЛОМ

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 разработан на базе подходов к управлению процес-

сом решения СОЗ в дистанционном обучении, представленных автором ранее в [52–55]. 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 используются 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

$$M = (\Pi, Y, D), \quad (24)$$

где Π – множество вершин-целевых факторов, Y – множество вершин-входных факторов (источников возникновения отклонений), D – множество взвешенных дуг-причинно-следственных связей.

Множество целевых факторов Π соответствует множеству показателей процесса X и имеет вид

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

Множество входных факторов (источников возникновения отклонений) Y имеет вид

$$Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5\}, \quad (26)$$

где Y_1 – ясность и полнота изложения материала, Y_2 – ясность рекомендаций по исправлению, Y_3 – сложность задания, Y_4 – пробелы в бэкграунде, Y_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.

На основе когнитивной модели строится продукционная 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.

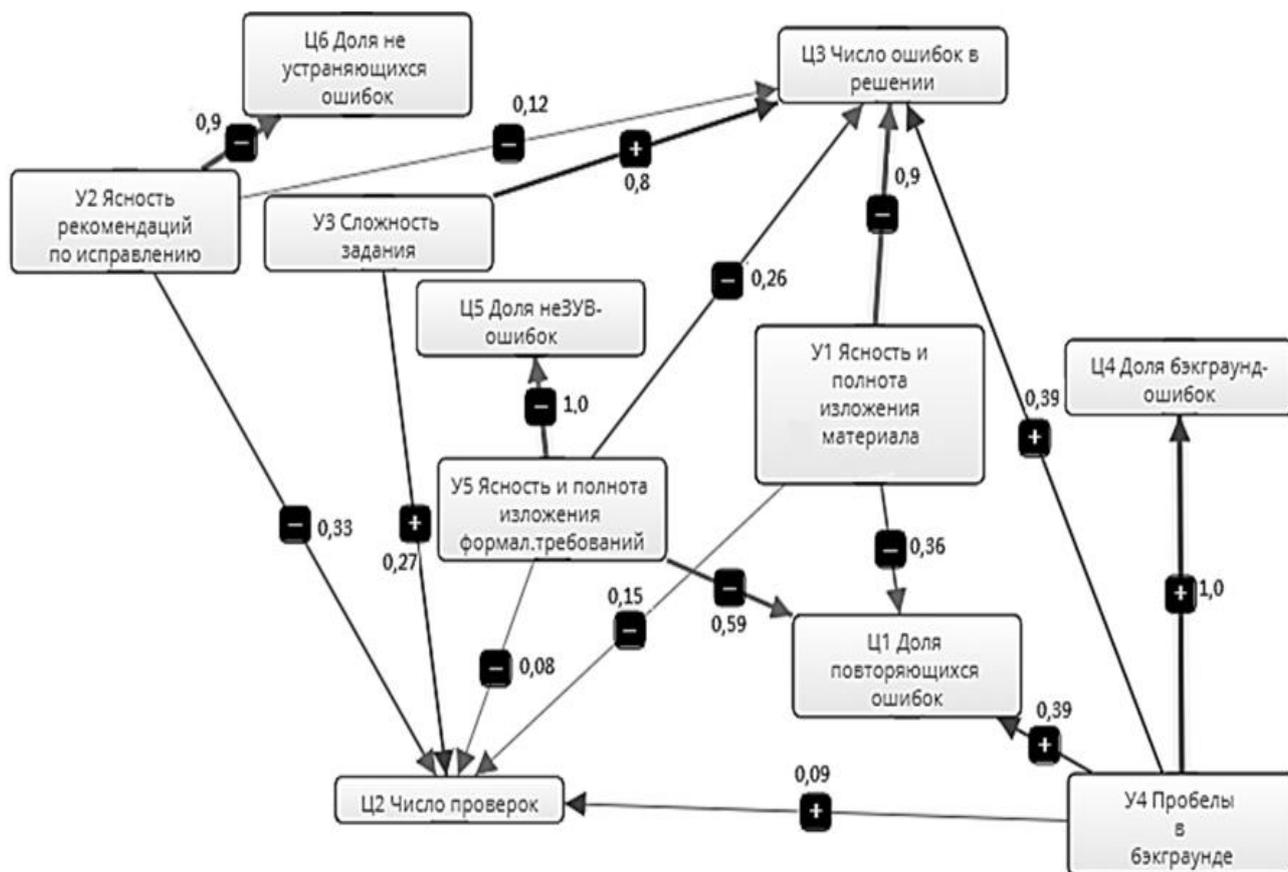


Рис. 3 Когнитивная модель эффективности процесса решения СОЗ.

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 $U_{mt} = U_{mtt}$ выводится множество сообщений OT_{ik} , при $U_{mb} = U_{mbt} - OB_{ik}$, при $U_{mf} = U_{mft} - OF_{ik}$.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕШЕНИЕМ СОЗ

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 [56–57] с использованием программы SuperDecisions. Использование последней является наиболее оптимальным при проведении научных исследований [58]. Выбор способа и среды программирования подробнее изложен автором в [59].

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 ППП 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.

Программный комплекс зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатенте) [60–62].

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ СОЗ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВНЕДРЕНИЯ

При внедрении использовался разработанный программный комплекс, описанный выше. 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. Модель оценки эффективности процесса решения СОЗ построена на базе модели для дистанционного обучения, апробированной автором в [63]. 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 $x_{n_{qi}}$ – 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 «УУНиТ». В результате внедрения повышена эффективность процесса решения СОЗ на 12.5 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 %.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Лаптев Г. В., Антонов В. В. Автоматизация контроля валидности конструкторской документации на машиностроительном предприятии // Междисциплинарные исследования: Сб. ст. по мат. XLV междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2018. С. 92–100. [[Laptev G. V., Antonov V. V. "Automation of control of the validity of design documentation at a machine-building enterprise" // Interdisciplinary Research: Coll. Art. according to mat. XLV intl. scientific-practical conf. Novosibirsk: Publishing house. ANS "SibAK", 2018. Pp. 92–100. (In Russian).]]

2. Воронкова П. Н., Французова Ю. В. Обеспечение качества конструкторской документации за счет средств автоматизации нормоконтроля // Известия ТулГУ. 2017. Вып. 8. Ч. 1. С. 195–198. [[Voronkova P. N., Frantsuzova Yu. V. "Ensuring the quality of design documentation through means of automation of standard control" // News of Tula State University. 2017. Vol. 8. Part 1, pp. 195–198. (In Russian).]]

3. Елтышев Д. К., Кулик В. Д. Автоматизация процессов проверки, учета и распределения электронной конструкторской документации в plm-системе teamcenter // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11–3. С. 510–514. [[Eltyshv D. K., Kulik V. D. “Automation of processes of verification, accounting and distribution of electronic design documentation in the teamcenter plm system” // *Fundamental Research*. 2016. No. 11-3, pp. 510-514. (In Russian).]]
4. Кондратьев С. Е., Ульянин О. В., Абакумов Е. М. Проблемные вопросы организации электронного документооборота КД, разработанной в САПР, в условиях перехода от использования бумажных подлинников КД к электронным // *CAD/CAM/PDM–2014: Сб. мат. XIV междунар. конф. М.: ИПУ РАН, 2014. С. 197–201.* [[Kondratiev S. E., Ulyanin O. V., Abakumov E. M. “Problematic issues of organizing electronic document management of design documents developed in CAD, in the conditions of transition from the use of paper originals of design documents to electronic ones” // *CAD/CAM/PDM–2014: Collection. mat. XIV international conf. Moscow: IPU RAS, 2014. Pp. 197–201.* (In Russian).]]
5. Огородов В. А., Сапожников А. Ю., Маврина А. С., Лютов А. Г. Интеллектуальная поддержка процесса согласования графической КД в PLM-системе // *Молодежный вестник УГАТУ*. 2019. Т. 21. № 2. С. 100–104. [[Ogorodov V. A., Sapozhnikov A. Yu., Mavrina A. S., Lyutov A. G. “Intellectual support for the process of approving graphic design documentation in the PLM system” // *Youth Bulletin of UGATU*. 2019. Vol. 21, No. 2, pp. 100–104. (In Russian).]]
6. Блеес Э. И., Заславский М. М. Критерии соответствия текста научному стилю // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2019. Т. 19. № 2. С. 299–305. [[Blees E. I., Zaslavsky M. M. “Criteria for text compliance with scientific style” // *Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics, and Optics*. 2019. Vol. 19, No. 2, pp. 299-305. (In Russian).]]
7. Кравец А. Г., Левитин С. А., Шумейко Н. О., Коробкин Д. М., Сальникова Н. А. Web-интерфейс интеллектуальной платформы поиска новых технических решений и экспертизы заявок на получение патентов // *Известия ВолгГТУ*. 2017. № 8 (203). С. 60–64. [[Kravets A. G., Levitin S. A., Shumeiko N. O., Korobkin D. M., Salnikova N. A. “Web interface of an intelligent platform for searching new technical solutions and examination of patent applications” // *News of VolgSTU*. 2017. No. 8 (203), pp. 60–64. (In Russian).]]
8. Логунова О. С., Ильина Е. А., Окжос К. М., Кочержинская Ю. В., Попов С. Н. Методика обработки экспертной информации о качестве научных статей // *Онтология проектирования*. 2016. Т. 6. № 2(20). С. 216–230. [[Logunova O. S., Ilyina E. A., Okzhos K. M., Kocherzhinskaya Yu. V., Popov S. N. “Methodology for processing expert information about the quality of scientific articles” // *Design Ontology*. 2016. Vol. 6, No. 2(20), pp. 216–230. (In Russian).]]
9. Логунова О. С., Ильина Е. А., Окжос К. М. Система поддержки принятия решения для оценки качества статей научного журнала // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 2. С. 492–497. [[Logunova O. S., Ilyina E. A., Okzhos K. M. “Decision support system for assessing the quality of scientific journal articles” // *Fundamental Research*. 2016. No. 2, pp. 492–497. (In Russian).]]
10. Тархов С. В., Минасова Н. С., Калимуллина Г. Р. Поддержка принятия решений при автоматизированной оценке текстов научно-технических работ // *ITIDS'2016: Proc. 4th Int. Conf. Уфа: УГАТУ, 2016. С. 55-60.* [[Tarkhov S.V., Minasova N.S., Kalimullina G.R. “Decision support for automated evaluation of texts of scientific and technical works” // *ITIDS'2016: Proc. 4th Int. Conf. Ufa: UGATU, 2016. pp. 55-60.* (In Russian).]]
11. Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Давыдова С. В., Айвазян А. В. Статистический анализ патентного массива для задач поиска и извлечения структурированной информации // *Известия ВолгГТУ*. 2017. № 1 (196). С. 59–65. [[Korobkin D. M., Fomenkov S. A., Davydova S. V., Ayvazyan A. V. “Statistical analysis of a patent array for problems of searching and retrieving structured information” // *News of VolgSTU*. 2017. No. 1 (196), pp. 59–65. (In Russian).]]
12. Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Кобликов И. А., Карачунова Г. А. Методика семантического патентного поиска // *Известия ВолгГТУ*. 2017. № 1 (196). С. 65–73. [[Korobkin D. M., Fomenkov S. A., Koblikov I. A., Karachunova G. A. “Methodology of semantic patent search” // *News of VolgSTU*. 2017. No. 1 (196), pp. 65–73. (In Russian).]]
13. Heaven D. AI peer reviewers unleashed to ease publishing grind // *Nature*. 2018. Vol. 563. No. 7733. Pp. 609–610.
14. Huang J. B. Deep Paper Gestalt // *ArXiv abs*. 2018. URL: arxiv.org/pdf/1812.08775.pdf.
15. Kihong K. Artificial intelligence and publishing // *Sci Ed*. 2019. Vol. 6. No. 2. Pp. 89–90.
16. Алексеев С. Н. Компетентностно-ориентированная модель курсового проектирования в вузах МЧС России: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08. СПб, 2011. [[Alekseev S. N. *Competency-Oriented Model of Course Design in Universities of the Ministry of Emergency Situations of Russia: abstract of thesis. dis. ...cand. ped. sciences. St. Petersburg, 2011.* (In Russian).]]
17. Васильев С. Н., Смирнова Н. В., Суконнова А. А., Душкин Д. Н., Абраменков А. Н. Методы интеллектуализации обучающих систем // *Современные ИТ и ИТ-образование: Сб. избр. тр. VII Межд. науч.-практ. конф., 2012. М.: ИНТУИТ.РУ, 2012. С. 503–519.* [[Vasiliev S. N., Smirnova N. V., Sukonnova A. A., Dushkin D. N., Abramnikov A. N. “Methods of intellectualization of teaching systems” // *Modern IT and IT education: Collection. VII Int. Scientific-Practical Conf., 2012. Moscow: INTUIT.RU, 2012. Pp. 503–519.* (In Russian).]]
18. Дятлов Р. Н. Проектирование электронных учебных задач для дистанционной поддержки учебного процесса // *Методы обучения и организация учебного процесса в вузе: Мат-лы 4-й Всерос. науч.-метод. конф. Рязань: Рязанск. гос. радиотехн. ун-т, 2015. С. 348–349.* [[Dyatlov R. N. “Design of electronic educational tasks for remote support of the educational process” // *Teaching Methods and Organization of the Educational Process at the University: Proc. 4th All-Russian scientific method. conf. Ryazan, 2015. Pp. 348–349.* (In Russian).]]
19. Крапивко Ю. А. Представление хода решения задачи в компьютерной обучающей системе // *Молодёжь и наука: Сб. мат-лов VIII Всерос. науч.-техн. конф. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2012. URL: elib.sfu-kras.ru/handle/2311/7106.* [[Krapivko Yu. A. “Representation of the progress of solving a problem in a computer training system” // *Youth and Science: Proc. VIII All-Russian scientific-technical conf. Krasnoyarsk, 2012. URL: elib.sfu-kras.ru/handle/2311/7106.* (In Russian).]]
20. Кулыгина Л. А. Инструменты реализации организационно-педагогических условий технологии сквозного курсового проектирования // *Инженерное образование*. 2013. № 13. С. 66–72. [[Kulygina L. A. “Tools for implementing organizational and pedagogical conditions of end-to-end course design technology” // *Engineering Education*. 2013. No. 13, pp. 66–72. (In Russian).]]

21. Кулыгина Л. А. Интегративная основа качества процессов и результатов обучения студентов вуза // Сибирский педагогический журнал. 2009. № 2. С. 65–75. [[Kulygina L. A. "Integrative basis for the quality of processes and learning outcomes for university students" // Siberian Pedagogical Journal. 2009. No. 2, pp. 65-75. (In Russian).]]
22. Лаптев В. В., Морозов А. В. Автоматизированная система для контроля лабораторных работ по программированию // Известия ВолгГТУ. 2011. Т. 11. № 12. С. 92–95. [[Laptev V. V., Morozov A. V. "Automated system for monitoring laboratory programming work" // News of VolgSTU. 2011. Vol. 11, No. 12, pp. 92–95. (In Russian).]]
23. Малькова Е. Г., Усачёв Ю. Е., Яшина Е. Н. Автоматизация процесса рецензирования учебно-методических изданий на основе семантического анализа текста // Вестник АГТУ. 2012. № 1. С. 186–192. [[Malkova E. G., Usachev Yu. E., Yashina E. N. "Automation of the process of reviewing educational publications based on semantic analysis of the text" // Vestnik ASTU. 2012. No. 1, pp. 186–192. (In Russian).]]
24. Ростовцев А. Н., Кулыгина Л. А., Иващенко Г. А. Математическая модель организации обучения инженеров-строителей сквозному курсовому проектированию с учетом компетентностного подхода // Сибирский педагогический журнал. 2008. № 11. С. 22–34. [[Rostovtsev A. N., Kulygina L. A., Ivashchenko G. A. "Mathematical model for organizing training of civil engineers in end-to-end course design taking into account the competency-based approach" // Siberian Pedagogical Journal. 2008. No. 11, pp. 22–34. (In Russian).]]
25. Ade-Ibijola A., Wakama I., Amadi J. An expert system for automated essay scoring (AES) in computing using shallow NLP techniques for inferencing // IJCA. 2012. Vol. 51. No. 10. Pp. 37–45.
26. Alber S., Debiasi L. Automated Assessment in Massive Open Online Courses. University of Salzburg, 2013.
27. Balfour S. Assessing writing in MOOCs: automated essay scoring and calibrated peer review // Research & Practice in Assessment. 2013. Vol. 8. Pp. 40–48.
28. Chauhan A. Massive open online courses: emerging trends in assessment and accreditation // Digital Education Review. 2014. No. 25. Pp. 7–18.
29. Docktor J., Heller K. Assessment of student problem solving processes // Proceedings of the 2009 Physics Education Research Conf., 2009. American Institute of Physics, 2009. Vol. 1179. Iss. 1. Pp.133–136.
30. Drasutis S., Motekaityte V., Noreika A. A method for automated program code testing // Informatics in Education. 2010. Vol. 9. No. 2. Pp. 199–208.
31. Faletic S., Planinsic G., Horvat B. Interactive e-learning content for physics // Proceedings of selected papers of the GIREP - ICPE-MPTL Int. Conf. «Teaching and Learning Physics Today». Reims. Udine: University of Udine, 2014. Pp. 583–592.
32. Goh K., Manao B. Assessing engineering drawings through automated assessment: discussing mechanism to award marks // International Journal of Smart Home. 2013. Vol. 7. No. 4. Pp. 327–336.
33. Lu Y., Warren J., Jermaine C., Chaudhuri S., Rixner S. Grading the graders: motivating peer graders in a MOOC // 24th Int. WWW Conf. 2015. Pp. 680–690.
34. Piech C., Huang J., Chen Z., Do C., Ng A., Koller D. Tuned models of peer assessment in MOOCs // Proc. 6th Int. Conf. on Educational Data Mining. Memphis. Int. Educational Data Mining Society, 2013. Pp. 153–160.
35. Willems C., Meinel C. Online assessment for hands-on cyber security training in a virtual lab // Proc. Conf. «IEEE EDUCON». IEEE Press, 2012. Pp. 1–10.
36. Репин В. В., Елиферов В. Г. Процессный подход к управлению. М.: Стандарты и качество, 2004. [[Repin V. V., Elifero V. G. Process Approach to Management. Moscow: Standards and Quality, 2004. (In Russian).]]
37. Аверченков А. В., Аверченков В. И., Баринаева А. Д., Баринов М. А., Герашенкова Т. М., Кузьменко А. А. Методика к диагностике результатов управления инновационным развитием социально-экономических систем // Информационные системы и технологии. 2019. № 5 (115). С. 18–26. [[Averchenkov A. V., Averchenkov V. I., Barinova A. D., Barinov M. A., Gerashchenkova T. M., Kuzmenko A. A. "Methodology for diagnosing the results of managing the innovative development of socio-economic systems" // Information Systems and Technology. 2019. No. 5 (115), pp. 18–26. (In Russian).]]
38. Мартынихин И. А., Антонов В. С., Незнанов Н. Г., Лисицына Л. С., Лямин А. В. Подход к автоматизированной оценке диагностической компетентности студентов медицинских вузов, изучающих психиатрию // Психиатрия и психофармакотерапия. 2016. Т. 18. № 2. С. 54–61. [[Martynikhin I. A., Antonov V. S., Neznanov N. G., Lisitsyna L. S., Lyamin A. V. "Approach to automated assessment of diagnostic competence of medical students studying psychiatry" // Psychiatry and Psychopharmacotherapy. 2016. Vol. 18, no. 2, pp. 54–61. (In Russian).]]
39. Макарова Е. А., Закиева Е. Ш., Габдуллина Э. Р. Поддержка принятия решений по управлению качеством образования на основе нечетких когнитивных карт Силова // Современные наукоемкие технологии. 2019. №1. С. 76–81. [[Makarova E. A., Zakieva E. Sh., Gabdullina E. R. "Support for decision-making on education quality management based on Silov's fuzzy cognitive maps" // Modern Science-Intensive Technologies. 2019. No. 1, pp. 76–81. (In Russian).]]
40. Ковязин А. С., Наводнов В. Г., Мотова Г. Н. Система поддержки принятия решений при проведении процедуры сбора информации по форме «1-мониторинг» // Вестник ПГТУ. 2016. № 4 (32). С. 18–27. [[Kovyazin A. S., Navodnov V. G., Motova G. N. "Decision support system when carrying out the procedure for collecting information using the "1-monitoring" form" // Vestnik PSTU. 2016. No. 4 (32), pp. 18–27. (In Russian).]]
41. Низамутдинов М. М., Орешников В. В. Система поддержки принятия решений на базе модели функционирования акторов региональной экономической системы // Системная инженерия и информационные технологии. 2019. Т. 1. № 1(1). С. 67–74. [[Nizamutdinov M. M., Oreshnikov V. V. "Decision support system based on the model of functioning of actors in the regional economic system" // System Engineering and Information Technologies. 2019. Vol. 1, No. 1(1), pp. 67–74. (In Russian).]]
42. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С. Методы и алгоритмы поддержки принятия решений при управлении производственными ресурсами машиностроительного предприятия на основе многоагентного подхода // Системная инженерия и информационные технологии. 2023. Т. 5. № 2(11). С. 96–106. [[Rizvanov D. A., Chernyshev E. S. "Methods and algorithms for decision support in managing production resources of a machine-building enterprise based on a multi-agent approach" // System Engineering and Information Technologies. 2023. Vol. 5, No. 2(11), pp. 96-106. (In Russian).]]

43. Черняховская Л. Р., Низамутдинов М. М., Орешников В. В., Атнабаева А. Р. Подход к организации поддержки принятия решений при разработке стратегий инновационного развития регионов с применением адаптивно-имитационной модели // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 3. С. 20–34. [[Chernyakhovskaya L. R., Nizamutdinov M. M., Oreshnikov V. V., Atnabaeva A. R. "An approach to organizing decision support when developing strategies for innovative development of regions using an adaptive simulation model" // Business Informatics. 2019. Vol. 13, No. 3, pp. 20–34. (In Russian).]]
44. Шамсутдинова Т. М. Оценка качества курсовых работ: компетентностный подход // Образование и наука. 2018. № 2. С. 180–195. [[Shamsutdinova T. M. "Assessing the quality of coursework: a competency-based approach" // Education and Science. 2018. No. 2, pp. 180–195. (In Russian).]]
45. Юсупова Н. И., Сметанина О. Н., Климова А. В. Организация информационной поддержки принятия решений при управлении образовательным маршрутом на основе онтологии // Информационные технологии и системы: Тр. 4-й Междунар. науч. конф. 2015. С. 109–111. [[Yusupova N. I., Smetanina O. N., Klimova A. V. "Organization of information support for decision-making in managing an educational route based on ontology" // Information Technologies and Systems: Proc. 4th Int. Scientific Conf. 2015. Pp. 109–111. (In Russian).]]
46. 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 (26). С. 32. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.26.3.015. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=657. [[Latypova V. A. "The concept of managing the process of distance automated learning when solving complex open problems using an error bank" // Modeling, Optimization, and Information Technologies. 2019. Vol. 7, No. 3 (26), pp. 32. (In Russian).]]
47. Латыпова В. А. Сложные открытые задачи в смешанном и дистанционном автоматизированном обучении // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3 (37). С. 58. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3211. [[Latypova V. A. "Complex open tasks in mixed and distance automated learning" // Engineering Bulletin of the Don. 2015. No. 3 (37), pp. 58. (In Russian).]]
48. 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 (30). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.027. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=828. [[Latypova V. A. "Decision support based on clustering error messages to control the quality of execution of complex open tasks" // Modeling, Optimization, and Information Technologies. 2020. Vol. 8, No. 3 (30). (In Russian).]]
49. 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. [[Latypova V. A. "Methodology and tools for automated verification of works with complex results based on the use of an error bank" // Science and Business: Ways of Development. 2015. No. 7 (49), pp. 41–47. (In Russian).]]
50. 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 (27). С. 43–44. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.034. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=708. [[Latypova V. A., Martynov V. V. "Method and software for collecting information when managing the process of distance learning based on automated verification of solutions to complex open problems using an error bank" // Modeling, Optimization, and Information Technologies. 2019. Vol. 7, No. 4 (27), pp. 43–44. (In Russian).]]
51. Osinski S. An Algorithm for Clustering of Web Search Results. Master's thesis. Poznan University of Technology. Poland, 2003.
52. 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 (40). С. 36. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3541. [[Latypova V. A. "Adjustment of the learning model based on the results of the analysis of deviations in the learning process, carried out based on the cognitive and production model" // Engineering Bulletin of the Don. 2016. No. 1 (40), pp. 36. (In Russian).]]
53. Латыпова В. А. Управление процессом обучения на основе процессного подхода при автоматизированной проверке сложных открытых задач // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 6 (31). С. 116. DOI: 10.15862/147TVN615. URL: naukovedenie.ru/PDF/147TVN615.pdf. [[Latypova V. A. "Management of the learning process based on the process approach in automated verification of complex open tasks" // Internet Journal "Science". 2015. Vol. 7, No. 6 (31), pp. 116. (In Russian).]]
54. Латыпова В. А., Тюрганов А. Г. Методика управления обучением на основе классификации ошибок в сложных открытых задачах // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4 (47). С. 136. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4533. [[Latypova V. A., Tyrganov A. G. "Methodology of learning management based on classification of errors in complex open tasks" // Engineering Bulletin of the Don. 2017. No. 4 (47), pp. 136. (In Russian).]]
55. Latypova V., Martynov V., Turganov A. Decision support system in online training process management for implementing complex open ended assignments in engineering education // 2020 5th International Conference on Information Technologies in Engineering Education, Inforino 2020. 2020. С. 9111821. DOI: 10.1109/Inforino48376.2020.9111821.
56. Saaty T.L., Vargas L.G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. New York: Springer Science+Business Media, 2001.
57. Латыпова В. А. О применении приближенных методов расчета в методе анализа иерархий // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. Т. 9. № 6. С. 128. https://naukovedenie.ru/PDF/146TVN617.pdf. [[Latypova V. A. "On the use of approximate calculation methods in the method of analyzing hierarchies" // Internet Journal "Science". 2017. Vol. 9, No. 6, pp. 128. (In Russian).]]
58. Латыпова В. А. Сравнительный анализ и выбор программных средств, реализующих метод анализа иерархий // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6. № 4 (23). С. 322–347. DOI: 10.26102/2310-6018/2018.23.4.024. URL: moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=534. [[Latypova V. A. "Comparative analysis and selection of software tools that implement the method of hierarchy analysis" // Modeling, Optimization, and Information Technologies. 2018. Vol. 6, No. 4 (23), pp. 322–347. (In Russian).]]

59. Латыпова В. А. Выбор оптимального способа реализации инструментального средства управления обучением с помощью метода анализа иерархий // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2 (45). С. 45. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4120. [[Latypova V. A. "Selecting the optimal way to implement a learning management tool using the hierarchy analysis method" // Engineering Bulletin of the Don. 2017. No. 2 (45), pp. 45. (In Russian).]]

60. Латыпова В. А. Программа сбора информации при управлении процессом обучения при решении сложных открытых задач: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019663469, 17.10.2019. Заявка № 2019662317 от 07.10.2019. [[Latypova V. A. Program for Collecting Information when Managing the Learning Process when Solving Complex Open Problems. Certificate of registration of the computer program RU 2019663469, 10/17/2019. Application No. 2019662317 dated 10/07/2019. (In Russian).]]

61. Латыпова В. А. Программа: СППР в обучении: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016615401, 23.05.2016. Заявка № 2016612886 от 30.03.2016. [[Latypova V. A. Program: DSS in Training. Certificate of registration of the computer program RU 2016615401, 05/23/2016. Application No. 2016612886 dated March 30, 2016. (In Russian).]]

62. Латыпова В. А. Программа: Банк ошибок: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016611178, 27.01.2016. Заявка № 2015619438 от 06.10.2015. [[Latypova V. A. Program: Bank of Errors. Certificate of registration of the computer program RU 2016611178, 01/27/2016. Application No. 2015619438 dated 10/06/2015. (In Russian).]]

63. Латыпова В. А. Оценка эффективности процесса обучения при наличии сложных открытых задач с помощью экспертных методов // Инженерный вестник Дона. 2016. № 1 (40). С. 35. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3540. [[Latypova V. A. "Assessing the effectiveness of the learning process in the presence of complex open tasks using expert methods" // Engineering Bulletin of the Don. 2016. No. 1 (40), p. 35. (In Russian).]]

Поступила в редакцию 26 сентября 2023 г.

МЕТАДАННЫЕ / METADATA

Title: Decision support methods for managing the solution of complex open problems based on intelligent analysis of error messages.

Abstract: A review of the results of research on decision support (DS) in managing the solution of complex open problems (COP) is presented. The subject of the research is the methods and software of DS in managing a COP solution using intelligent technologies. The goal is to increase the efficiency of the process of solving COPs based on providing information support using intelligent analysis of error messages. To achieve the goal, it was necessary to solve the following problems: 1) develop a concept for information support for managing the COP solution based on the use of intelligent analysis of error messages and knowledge engineering technologies; 2) develop a DS method for monitoring the results of solving the COP, taking into account decomposition into subprocesses using a directory of typical error messages, formed on the basis of clustering of unique messages; 3) develop a DS method for monitoring the process of solving COPs as a whole, based on identifying classes of typical errors, using cognitive modeling of the effectiveness of the process of solving COPs and inference based on rules; 4) develop a model for assessing the effectiveness of the process of solving COPs based on the ranking method as a method of expert assessment; 5) develop a software package for information support for COP solution management that implements the proposed model and methods, and evaluate the effectiveness of the COP solution process.

Key words: decision support; complex open problem; problem solution management; intelligent message analysis

Язык статьи / Language: русский / Russian.

Об авторе / About the author:

ЛАТЫПОВА Виктория Александровна

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия.
Доц. каф. автоматизированных систем управления. Дипл. инж. по системам автоматиз. проектирования» (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2007). Канд. техн. наук по упр. в соц. и экон. системах (там же, 2021). Иссл. в обл. управ. в соц. и экон. системах, интеллектуальной поддержки принятия решений.
E-mail: vikvaphoto@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3063-105X>
URL: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=824495

LATYPOVA Viktoriya Aleksandrovna

Ufa University of Science and Technologies, Russia.
Assoc. Prof. of Automated Management Systems Dept. Dipl. Eng. on Computer-Aided Design Systems (Ufa State Aviation Technical University, 2007). Cand. of Tech. Sci. on social and economic system management (ibid, 2021). Research in the field of social and economic system management, intelligent decision support.
E-mail: vikvaphoto@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3063-105X>
URL: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=824495