

А.В. Смирнов, А.В. Пономарев, Н.Г. Шилов, Т.В. Левашова,
Н.Н. Тесля

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ: ПОДХОД И АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЫ

Смирнов А.В., Пономарев А.В., Шилов Н.Г., Левашова Т.В., Тесля Н.Н. **Концепция построения коллаборативных систем поддержки принятия решений: подход и архитектура платформы.**

Аннотация. В статье описывается общая концепция построения коллаборативных систем поддержки принятия решений, в которых коллективы, осуществляющие поддержку принятия решений, а) формируются гибко в соответствии с задачей и б) состоят как из людей-экспертов, так и из интеллектуальных агентов, реализующих те или иные методы искусственного интеллекта. Проводится анализ ключевых проблем создания коллаборативных систем поддержки принятия решений, основанных на взаимодействии человека и искусственного интеллекта. В частности, выделены следующие проблемы: обеспечение интероперабельности (взаимопонимания) между разнородными участниками коллектива, согласование различающихся позиций участников, обеспечение доверия между участниками, обеспечение эффективности планирования совместных действий и соблюдение баланса между предопределенными потоками работ и самоорганизацией. Сформированы принципы построения подобных систем, предлагающие решения выделенных проблем. В частности, предлагается онтолого-ориентированное представление информации о проблеме (применение мультиаспектных онтологий), набор методов для мониторинга деятельности команды, схема репутации, элементы объяснимого искусственного интеллекта, а также применение механизма ограниченной самоорганизации. Предложенная концепция положена в основу программной платформы для создания коллаборативных систем поддержки принятия решений, основные архитектурные положения которой также представлены в статье. Применение платформы иллюстрируется на примере из области рационального управления дорожной инфраструктурой и создания коллаборативной системы поддержки принятия решений для разработки мероприятий по снижению аварийности.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, коллаборативные системы, онтологии, ограниченная самоорганизация, человеко-машинное взаимодействие.

1. Введение. Современный этап развития технологий интеллектуальной поддержки принятия решений характеризуется тремя относительно независимыми тенденциями. Первая тенденция, это активное применение искусственного интеллекта (ИИ) (в особенности, глубоких нейронных сетей, но не только) – во многих задачах нейросетевые агенты позволяют принимать более точные решения, чем это сделали бы люди (особенно, люди, обладающие средней квалификацией), при этом производительность подобных систем и их доступность оказываются крайне высокими.

Вторая тенденция – это коллаборативность, или необходимость совместной работы. Проблемы, возникающие при управлении сложными динамическими системами (большими коммерческими организациями и государственными структурами), требуют комплексного подхода, использования компетенций и знаний, не всегда присутствующих у одного эксперта или одной модели.

Наконец, третья тенденция – это динамический характер взаимодействий. Эта тенденция проявляется, в частности, через появление и развитие краудсорсинга и основанных на нем моделей сотрудничества. Особенность здесь заключается в том, что при быстром изменении внешних условий у современных субъектов хозяйствования может не быть организационных структур и ресурсов, готовых к принятию решений, и может потребоваться их оперативное динамическое формирование.

Соответственно, разработки, находящиеся на пересечении трех этих тенденций, представляют собой методы, технологии и инструментальные средства коллаборативной поддержки принятия решений, где коллаборации а) состоят как из людей-экспертов, так и из интеллектуальных агентов, реализующих те или иные методы ИИ, б) формируются гибко в соответствии с задачей.

В статье описывается разработанная авторами общая концепция построения подобных систем, включая подход к решению ключевых проблем обеспечения взаимодействия между разнородными участниками (людьми и ИИ-агентами). Предложенная концепция легла в основу программной платформы для создания коллаборативных систем поддержки принятия решений, основные архитектурные положения которой также представлены в статье. Применение платформы иллюстрируется на примере из области рационального управления дорожной инфраструктурой и создания коллаборативной СППР (КСППР) для разработки мероприятий по снижению аварийности.

2. Обзор существующих исследований. Предлагаемые в статье концепция построения КСППР и реализующая ее архитектура базируются на современных разработках в нескольких областях исследований, интегрируя их в уникальную комбинацию, обладающую качественно новыми свойствами. Охарактеризуем основные направления исследований и соответствующие результаты.

2.1. Поддержка динамических гетерогенных коллективов. Идея динамического формирования коллектива не связанных между собой организационными связями (или слабо связанных) людей, взаимодействующих через Интернет, и комплекс мер, нацеленных на

обеспечение качественного решения задачи таким коллективом, обычно обсуждается в рамках краудсорсинга или крауд-вычислений. В большинстве систем краудсорсинга участники индивидуально выполняют относительно простые задачи, играя роль своеобразного «вычислительного устройства» [1], следуя заранее определенной процедуре. Показательным примером здесь является концепция «человеко-машинной облачной среды», предлагающей абстрагирование человеческих ресурсов аналогично вычислительным [2]. Однако в рамках адаптации краудсорсинга к более сложным задачам (чем, например, не требующая особой квалификации разметка изображений) показано, что для сложных задач заранее запрограммированная процедура (рабочий процесс) может существенно ограничивать эффективность группы (например, [3]), поэтому потенциал краудсорсинга применительно к сложным задачам тесно связан с механизмами динамического формирования команд и адаптации процедур их совместной работы «на лету». Применение крауд-вычислений для решения сложных задач требует гибкости процедур и способности участников корректировать их в определенных рамках. В этом направлении имеется несколько исследовательских работ (например, [4 – 6]), здесь одной из значимых разработок является идея «флэш-организации» (flash organization) [4]. Однако такие «флэш-организации» состоят только из людей, а процессы обработки информации и принятия решений включают как людей, так и ИИ-агентов.

2.2. Поддержка коллаборативных процессов. Совместная работа, в том числе, направленная на принятие решений или на поддержку принятия решений, является многоуровневой активностью, поскольку включает в себя согласование позиций различных участников, как на синтаксическом, так и на семантическом (а порой и на телеологическом или ценностном уровнях) [7, 8]. При рассмотрении вопроса синтаксического и семантического согласования в рамках гетерогенных человеко-машинных коллективов особого внимания заслуживают результаты проекта Dicode, реализованного в рамках европейской программы FP7-ICT [9]. Важность этих результатов заключается в том, что для обмена информацией о задаче между экспертами и ИИ-агентами эта задача должна иметь структурированное представление, одним из вариантов которого является граф связи аргументов. Однако явное кодирование всех аргументов может оказаться достаточно сложным.

Проблеме поддержки процессов сотрудничества и повышения их эффективности уделяется большое внимание как в области теории

принятия решений и управления в целом, так и в области систем коллективной поддержки принятия решений.

Одной из распространенных практик для повышения эффективности процессов сотрудничества является выделение в команде специальной роли – фасилитатора [10]. Исследования групповой работы привели к появлению ряда методологий, которые должны использовать фасилитаторы (например, дизайн-мышление [11]). Однако нехватка опытных фасилитаторов является ограничивающим фактором, особенно в случае крупномасштабных систем коллективного интеллекта, основанных на свободном участии (например, массовом) [12].

Поиску путей преодоления этого ограничения посвящены, например, следующие отрасли исследований: проектирование сотрудничества [13] и автоматизированная фасилитация [11, 12, 14].

Подход к поддержке коллаборации, реализованный в платформе, представленной в этой статье, предполагает структурированное представление обсуждения (например, [12]), однако конкретное представление значительно отличается от тех, что рассматриваются в существующих исследованиях. В предлагаемой платформе информация о проблеме представлена с помощью нескольких онтологий (основанных на методологиях поддержки принятия решений) [15], в то время как существующие исследовательские работы рассматривают структурированное представление, типичное для систем обсуждения [12, 14].

2.3. Взаимодействие между человеком и ИИ-агентом.

Существует множество статей, в которых исследуются сценарии сотрудничества между ИИ-агентами и людьми-экспертами в ходе поддержки принятия решений [16 – 25].

В рамках такого сотрудничества ИИ-агенты обычно решают задачи анализа больших объемов информации, прогнозирования, планирования, генерации рекомендуемых решений, предотвращения опасных ситуаций, представления текущей ситуации в удобочитаемой форме и другие. Человек проверяет корректность работы ИИ-агентов, обучает их и принимает окончательные решения. Эксперты и ИИ-агенты могут совместно решать задачи сбора информации о текущей ситуации и построения контекста.

В результате анализа исследований, посвященных взаимодействию ИИ-агентов с человеком, было выделено пять типов взаимодействий [17, 26]: информирование (инициированное ИИ-агентом), запрос к агенту ИИ (инициируемый экспертом), ответ (не сопровождаемый объяснениями ответ ИИ-агента эксперту),

объяснение (ответ ИИ-агента на запрос эксперта, сопровождаемый объяснениями) и обучение ИИ-агента человеком.

В результате анализа были выделены четыре группы КСППР: 1) человек принимает решения, ИИ-агенты помогают человеку; 2) человек принимает решения и обучает ИИ-агентов; 3) человек является лицом, принимающим решения (ЛПР), и вместе с ИИ-агентами участвует в процессах взаимного обучения; 4) любой участник команды, человек или ИИ-агент, может принимать решения. Платформа, представленная в этой статье, охватывает первые три сценария – во всех сценариях решения принимаются человеком.

В сценариях с высокой ценой ошибки сотрудничество человека и ИИ предполагает взаимодополняющую деятельность, в которой индивидуальные сильные стороны человека и ИИ-агентов объединяются для оптимизации результата совместной деятельности, в отличие от принципа разделения труда, где сильные стороны людей и ИИ-агентов используются для принятия окончательного решения в соответствии с выбранной стратегией принятия решений. В сценариях, где задачи, которые будут решать ИИ-агенты, известны, сотрудничество отводит роль ЛПР человеку и обеспечивает получение обратной связи от человека, способного обучать ИИ-агентов. Сценарии, основанные на принципах равенства между людьми и ИИ-агентами, реализуют принципы делегирования задач (решений) и могут использоваться, если участники способны адекватно оценивать свои возможности и возможности друг друга в решении задач.

3. Подход к построению КСППР. Ключевые решения по организации КСППР, основанной на взаимодействии людей-экспертов и ИИ-агентов, диктуются проблемами (вызовами), характерными как для коллаборативных систем в целом, так и для взаимодействия между человеком и ИИ в широком смысле. В данном разделе рассмотрены основные такие проблемы и их решения, предлагаемые в рамках подхода к организации КСППР.

3.1. Проблемы организации КСППР, основанных на взаимодействии человека и ИИ. Первой фундаментальной проблемой организации КСППР является проблема обеспечения интероперабельности (или взаимопонимания) между разнородными участниками команды, вовлеченной в коллаборативную поддержку принятия решений. Интероперабельность должна обеспечиваться на разных уровнях – начиная с синтаксического, представляющего знаковую основу, одинаково интерпретируемую разнородными участниками команды, заканчивая семантическим, заключающимся

в одинаковом понимании текущей ситуации, состава команды и ее цели. Для решения этой проблемы к настоящему времени разработан широкий спектр подходов, начиная от специализированных протоколов и языков представления знаний, заканчивая подходами, основанными на анализе естественного языка.

Второй проблемой организации КСППР является согласование различающихся позиций. Даже если первая проблема успешно решена, и каждый участник команды (независимо от своей природы) одинаково понимает задачу и цель принятия решения, могут возникнуть существенные различия в предлагаемых разными участниками наборах альтернатив и в их оценке. С одной стороны, эта ситуация абсолютно нормальна для КСППР, потому что сама коллаборативность привносится в нее именно в силу различий в имеющейся у участников информации и в компетенциях участников. Вместе с тем, в результате работы команды должно быть предложено некоторое согласованное решение, что требует применения специальных процедур обсуждения и, возможно, корректировки начальных позиций участников.

Третья проблема – доверие. В определенном смысле доверие также оказывается связанным с согласованием, поскольку при различии позиций восприятие позиции другого участника может очень сильно варьироваться в зависимости от имеющегося образа этого участника. Однако это является и самостоятельной проблемой, поскольку доверие важно не только для согласования различающихся позиций, но и на всех других этапах функционирования команды. В свою очередь, проблема доверия в КСППР, основанных на участии человека и ИИ, естественным образом декомпозируется на доверие между людьми-экспертами и доверие между экспертами и ИИ-агентами. Данная проблема хорошо известна и для нее предложен ряд как общих решений, включающих репутационные схемы [27], так и более частных, к которым можно отнести механизмы отслеживания источников информации (provenance) и объяснения (что оказывается особенно актуально для формирования доверия к ИИ-агентам) [28].

Наконец, четвертая проблема – это поиск эффективной степени гибкости планирования действий группы. Как уже указывалось в разделе 2, полностью предопределенные процессы оказываются наиболее эффективны применительно к простым, рутинным задачам, но не очень подходят для сложных задач принятия решений, когда последовательность необходимых действий не может быть определена заранее.

Следует заметить, что данные проблемы можно считать базовыми (основополагающими), их также можно конкретизировать и уточнять, как это сделано, например, в работе [29]. Однако уточненный перечень, в конечном итоге, определяется перечисленными базовыми проблемами.

3.2. Принципы построения КСППР. Предлагаемые принципы построения КСППР, с одной стороны, определяют контекст применения рассматриваемого класса КСППР, с другой – предлагают ответ на перечисленные выше проблемы организации КСППР.

Процесс поддержки принятия решений осуществляет команда, состоящая из людей-экспертов и интеллектуальных агентов (программных объектов, действующих на основе ИИ, ИИ-агентов). Команда создается для решения конкретной проблемы поддержки принятия решений, после решения которой она расформируется. Пул потенциальных участников обеспечивает доступ к совокупности возможных участников, которыми могут быть сотрудники предприятия, члены профессионального сообщества и т.д., а также ИИ-агенты. В задачах поддержки принятия решений члены команды часто не взаимозаменяемы и обладают уникальными способностями, поэтому важно отобрать участников с достаточными и взаимодополняющими навыками и знаниями, чтобы они эффективно работали над проблемой.

За окончательное решение отвечает конечный пользователь (ЛПР), который формулирует проблему и инициирует организацию команды. Команда обеспечивает поддержку принятия решения посредством набора действий, направленных на выявление критериев и альтернатив, оценку альтернатив и определение важности критериев. Реализация этих действий может привести к задачам сбора и обработки информации о сформулированной проблеме, а также к необходимости оценки гипотетических сценариев поддержки принятия решений.

Для решения проблемы интероперабельности применяется структурированное представление информации о проблеме и совместной деятельности (командной работе) в форме онтологии. В ИТ-индустрии с момента появления концепции Семантической паутины онтологии зарекомендовали себя как достаточно эффективный инструмент решения проблем интероперабельности. Для смешанных человеко-машинных команд онтологии могут обеспечивать представление, приемлемое как для людей-экспертов, так и для ИИ-агентов, и гарантировать функциональную совместимость разнородных участников команды. Поскольку прямое

использование языка онтологий может потребовать определенных знаний в области логики и инженерии знаний, использование онтологий может дополняться некоторым интуитивно понятным интерфейсом конечного пользователя. Очевидно, что построение новой онтологии для каждого процесса поддержки принятия решений нецелесообразно, но основной онтологией, необходимой для представления требуемых знаний, является онтология проблемной области, определяющая понятия проблемной области и связи между ними. Наличие онтологии проблемной области является обязательным условием для предлагаемого подхода. За последние десятилетия для многих областей было разработано множество высококачественных онтологий и КСППР могут использовать их. Следует отметить, что различные процессы поддержки принятия решений в одной и той же области могут использовать одну и ту же онтологию проблемной области.

Поскольку в ходе работы над проблемой команда оперирует несколькими видами взаимосвязанной информации, отражающей различные взгляды на проблему, предлагается применение аппарата мультиаспектных онтологий. Информационный фрагмент (факт, утверждение) может играть несколько ролей в командной работе. Это, в частности, вытекает из сложной структуры команды и обуславливает необходимость использования мультиаспектных онтологий, обеспечивающих непротиворечивое представление информации с позиций различных аспектов проблемы и взглядов участников команды [30]. Мультиаспектная онтология включает три уровня: локальный, аспектный и глобальный. Каждый аспект может быть представлен определенным формализмом. Локальный уровень представляет концепции и отношения, наблюдаемые только с одной точки зрения. Уровень аспекта представляет концепции и отношения локального уровня, которые являются общими для двух или более аспектов. Он определяет формализм мультиаспектной онтологии. Глобальный уровень является общей частью для аспектов мультиаспектной онтологии, представленной с помощью формализма мультиаспектной онтологии. Понятия, представленные на этом уровне, связаны с понятиями аспектного уровня. В данной работе используется аспект поддержки принятия решений, предложенный в составе многоаспектной онтологии в [30].

Для решения проблемы согласования различающихся позиций применяются компоненты, осуществляющие мониторинг деятельности команды. Конфликтные ситуации, которые могут возникнуть в ходе совместной деятельности, распознаются и разрешаются. Это касается

различных трудностей и ошибок в понимании текущей ситуации, намерений и целей участников и т.д.

Для решения проблемы взаимного доверия применяется комплекс мер, включающий как схему репутации, используемую в ходе формирования команды, так и элементы объяснимого ИИ. В частности, поскольку взаимодействие основано во многом на использовании онтологий, то речь идет, в первую очередь, о применении онтолого-ориентированного объяснимого ИИ. Так, важными аспектами взаимодействия между участниками являются объяснение результатов, полученных ИИ-агентами, человеку и обучение, т.е. передача знаний от человека-эксперта ИИ-агенту. Оба эти процесса основаны на онтологическом представлении информации и предполагают существование онтолого-ориентированных методов объяснения и использования онтологий как априорных знаний. Если задача (некоторая часть всей проблемы поддержки принятия решений), решаемая агентом ИИ, может быть выражена как онтологический вывод, то этот вывод (возможно, переформулированный на естественном языке) является действительным объяснением. Это достаточно мощный метод, и недавние публикации показывают, что в некоторых случаях его можно использовать даже с нейросетевыми агентами (например, [31]). Однако есть и другие методы. Например, концепты онтологии могут быть связаны с исходными признаками модели или их комбинациями, что делает традиционные методы объяснения моделей машинного обучения более понятными (например, [32]).

Наконец, для решения проблемы определения эффективной гибкости процесса планирования предлагается использование ограниченной самоорганизации [33]. Особенностью этого подхода является то, что, с одной стороны, команда может гибко планировать свою деятельность, с другой, присутствует набор механизмов, «мягко» направляющих деятельность команды посредством социальных норм и рекомендаций.

3.3. Концептуальная модель КСППР. Разработанные принципы нашли отражение в обобщенной концептуальной модели КСППР (рисунок 1).



Рис. 1. Обобщенная концептуальная модель КСППР

Исходной точкой для функционирования такой СППР является взаимодействие между ЛПР и командой, состоящей из людей-экспертов и ИИ-агентов. ЛПР формулирует проблемную ситуацию для разрешения которой – поиска возможных решений и их оценки – формируется команда, состоящая из экспертов-людей и из ИИ-агентов (программные компоненты, реализующие какие-либо интеллектуальные функции обработки информации и способные принимать участие в коллективной работе над задачей). ЛПР может управлять процессом формирования команды и координировать ее работу. Команда, в свою очередь, формируется динамически под конкретную проблемную ситуацию. При этом, основными характеристиками команды являются [34]: модель организации команды (схема подчинения), способы распределения задач и ответственности.

Работа над проблемной ситуацией декомпозируется в решение частных задач и интеграцию их результатов. Основные типы таких задач выделены, например, в работе [35]: распознавание, предсказание, решение и действие. Эти типы могут быть использованы, в частности, в описании ИИ-агентов, для облегчения автоматизированного распределения задач.

Команда для поддержки принятия решения ЛПР при работе с заданной проблемной ситуацией формируется в рамках выбранной модели организации команды из экспертов и ИИ-агентов, каждый из которых характеризуется набором возможностей по решению тех или иных задач. Характеристики команды в целом (модель организации, распределения задач и ответственности) определяют ее состав и правила взаимодействия участников, они используются как при формировании (например, подборе участников, определении ролей), так и транслируются участникам в виде норм и правил взаимодействия, которые могут носить как неформальный характер, так и подкрепляться функциями платформы, обеспечивающей совместную работу. Участие в команде, как правило, характеризуется ролью, определяемой как совокупность обязанностей по решению тех или иных задач и ответственности за результат.

Основными процессами, обеспечивающими работу над решением проблемы, является обмен информацией и знаниями (в результате которого снижается общая неопределенность, связанная с проблемной ситуацией), обучение, понимаемое как передача норм и навыков, а также достижение согласия между участниками команды. Конкретные механизмы реализации этих процессов определяют итоговую конфигурацию КСППР.

В основе предлагаемого подхода к построению КСППР лежит представление проблемной ситуации (и прочей информации, имеющей отношение к принятию решения) с помощью нескольких онтологий, раскрывающих различные аспекты проблемы: терминология и закономерности проблемной области, структура задачи принятия решения как таковой, логика аргументации и прочие. Данные аспекты могут проблемно-ориентированным образом объединяться в единую онтологию с помощью аппарата мультиаспектных онтологий [30, 36].

Представленная подобным образом информация о проблеме содержится в онтолого-ориентированном интеллектуальном пространстве [37, 38] (доступная участникам системы «классная доска», хранящая множество высказываний в терминах онтологии и обеспечивающая удобные механизмы доступа и оповещения), к которому имеют доступ как ИИ-агенты, так и эксперты.

Достоинством онтолого-ориентированного представления является то, что информация оказывается доступна как людям (напрямую или через специализированный интерфейс), так и ИИ-агентам, которые могут использовать возможности структурированных языков запросов (например, SPARQL) для извлечения релевантных высказываний из описания текущего состояния проблемы.

Взаимодействие между участниками команды, осуществляющей поддержку принятия решений, происходит опосредованно – через изменение содержимого интеллектуального пространства.

ИИ-агенты в предлагаемой схеме могут реализовывать широкий спектр алгоритмов по поиску и обработке информации. По характеру исходной и результирующей информации можно выделить две группы таких агентов: агенты первого вида осуществляют преобразования символической информации на основе знаний, то есть, и на входе, и на выходе у этих агентов символическая информация. Агенты же второго вида осуществляют преобразование «сырых» данных в символическую информацию. На вход таким агентам попадают изображения, видео-, аудиоданные или просто численные наблюдения, на выходе же у них высказывания, основанные на онтологии проблемной области. Для организации подобных агентов оказываются особенно востребованными технологии нейро-символического интеллекта [39], поскольку эта парадигма позволяет получать символическую интерпретацию производимых преобразований, что оказывается важным для организации коммуникации (в том числе, с учетом объяснения).

Одним из существенных аспектов коллаборативной поддержки принятия решений является отслеживаемость (provenance), понимаемая как возможность отследить источник для каждого утверждения (касающегося перечня альтернатив или их оценок), которые сформулированы в ходе совместной работы над задачей. Подобная возможность играет ключевую роль, например, в формировании и использовании механизмов доверия, существенно снижающих накладные расходы на верификацию. В предлагаемой концептуальной модели отслеживаемость обеспечивается двумя механизмами. Во-первых, все изменения в представлении проблемы снабжаются метаданными в соответствии с онтологией PROV-O [40], позволяющей описать источники информации (участника системы, предоставившего информацию, основания); во-вторых, агенты помимо самого результата работы добавляют и объяснение – почему именно такой результат был получен (для агентов, осуществляющих преобразование символической информации, это цепочка логического

вывода, а для агентов, осуществляющих преобразование «сырых» данных в символьные – это те или иные виды онтолого-ориентированного объяснения).

4. Архитектура платформы для создания КСППР.

Предложенная концептуальная модель нашла воплощение в архитектуре платформы для создания КСППР, основные положения которой представлены в данном разделе статьи. Платформа предоставляет как набор инструментов, обеспечивающих создание КСППР, ориентированных на принятие решений в конкретной проблемной области, так и набор базовых сервисов, поддерживающих функционирование таких КСППР.

4.1. Пользователи и сценарии. Выделяется три категории пользователей с соответствующими ролями: *Конечный пользователь* (ЛПР), *Участник (эксперт)*, и *Разработчик агентов*. *Конечный пользователь* обращается к КСППР (функционирующей на платформе) с некоторой задачей, решение которой требует совместных усилий команды людей-экспертов и ИИ-агентов. *Участник (эксперт)* предпринимает действия, способствующие решению задачи. *Разработчик агентов* регистрирует ИИ-агентов, которые, используя механизмы платформы, также могут принимать участие в решении задачи.

Значительное количество сценариев, обеспечивающих собственно взаимодействие в рамках команды (просмотр информации о проблеме, ввод сведений, просмотр плана и его уточнение и некоторые другие), являются общими для двух ролей – *Конечный пользователь (ЛПР)* и *Участник (эксперт)*. Специфическим сценарием, характерным для *Конечного пользователя*, является формулировка проблемы, включающая создание исходного текстового описания проблемы, для которой требуется использование КСППР, а также задание дополнительных параметров (временные ограничения, политика компенсации (если применимо) и других). В результате выполнения этого сценария 1) в системе регистрируется новая проблема, и для нее создается рабочее пространство, 2) участникам, привлечение которых к решению проблемы может оказаться перспективным, рассылаются приглашения. Под рабочим пространством понимается комплекс элементов интерфейса и связанных с ними функций, направленных на отображение состояния решаемой проблемы и дополнение его новой информацией. Специфическими вариантами использования, характерными для *Участника (эксперта)*, является заполнение профиля участника и работа с поступившими приглашениями присоединиться к решению

задач. Профиль участника объединяет в себе информацию как сообщенную пользователем, так и обобщающую опыт его участия в решении задач, и используется для подбора участников в ходе рассылки приглашений. Основным параметром профиля, который *Участник* может корректировать, является описание имеющихся компетенций (как на естественном языке, так и в привязке к онтологии компетенций).

Важным строительным блоком организации взаимодействия, реализующим идеи ограниченной самоорганизации, является понятие *Действие* (или action point). Это действие, которое должен совершить тот или иной участник в ходе работы над задачей. Оно служит как для реализации элементов планирования работ (обязательства предоставить тот или иной артефакт), так и при реализации координационных протоколов (например, голосования). *Действия* создаются в результате интерпретации высказываний участников системой или явным образом. Прецедент *Выполнение действия* представляет собой взаимодействие с элементом пользовательского интерфейса, представляющим соответствующее *Действие*. Характер взаимодействия может варьироваться в зависимости от типа *Действия* (например, для голосования – это выбор одного из представленных вариантов, для загрузки артефакта – выбор файла и нажатие кнопки загрузки).

Основными прецедентами, доступными для роли *Разработчик агентов*, являются создание ИИ-агента, загрузка очередной версии, просмотр информации об ИИ-агентах и управление их состоянием.

Сценарии, доступные ИИ-агентам, связаны с получением доступа к онтолого-ориентированному представлению содержимого рабочего пространства. Так, агенты могут оформлять подписку на определенные онтологические конструкции (подграфы) и активироваться в тех случаях, когда вследствие изменения содержимого рабочего пространства множество подграфов, соответствующих подписке, изменяется. Кроме того, сервисы могут осуществлять запросы к онтолого-ориентированному представлению рабочего пространства и вносить в него изменения.

4.2. Компоненты. Исполнение компонентов системы происходит на трех вычислительных узлах: веб-сервере, сервере баз данных и пользовательском устройстве (рисунок 2).

На веб-сервере размещается не только компонент, обеспечивающий отображение страниц веб-приложения, но и все компоненты, связанные с управлением интеллектуальным пространством, исполнением ИИ-агентов (менеджер ИИ-агентов,

среда выполнения ИИ-агентов), формированием команды, рекомендацией паттернов взаимодействия, интерпретацией естественного языка, а также инфраструктура для отложенного выполнения задач.

На сервере баз данных размещается СУБД, под управлением которой работает сама база данных веб-приложения.

Наконец, взаимодействие с клиентом происходит через веб-браузер, запущенный на устройстве пользователя и предоставляющий вычислительную среду для выполнения кода, связанного с внешним видом и логикой поведения некоторых элементов интерфейса.

Компонент формирования команды предоставляет набор алгоритмов для создания новых команд и расширения существующих. Он поддерживает набор примитивов, таких как компетентность, роль, история участия, и конкретная КСППР, созданная с помощью платформы, может настроить политику формирования команды, используя эти примитивы и заранее определенные политики, или даже реализовать новую политику, адаптированную к проблемной области.

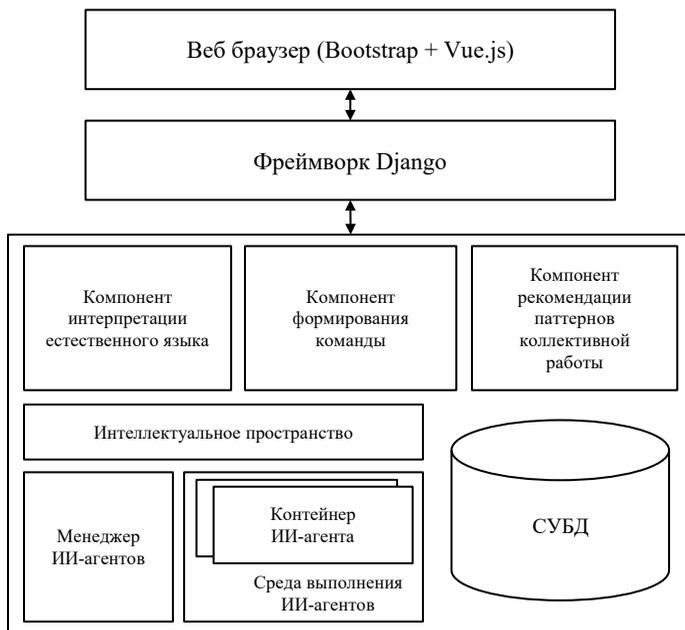


Рис. 2. Архитектура платформы

Компонент интерпретации естественного языка играет важную роль в анализе и преобразовании текстовых обсуждений в структурированное представление. В частности, он определяет роли отдельных сообщений и фрагментов информации (если это альтернативное описание, оценка) и их взаимозависимости (подтверждающие утверждения, противоречащие утверждения). Результирующее структурное представление согласуется с участником команды в интерактивном режиме и затем может использоваться ИИ-агентами, что устраняет необходимость каждому агенту анализировать текстовый поток.

Компонент рекомендации паттернов коллективной работы предназначен для идентификации непродуктивных ситуаций в коллективной работе (поляризации мнений, преждевременной фокусировки на одной из возможных альтернатив) и рекомендации коллективных действий по выходу из подобных ситуаций. Для решения этой задачи компонент осуществляет периодический анализ текущей ситуации обсуждения (ее структурированного представления) и, используя знания в области совместной работы и модель машинного обучения, выявляет непродуктивные ситуации и предлагает способы их преодоления. Сами рекомендуемые паттерны (способы преодоления непродуктивных ситуаций), извлеченные из литературы, сохранены в виде базы знаний. Для идентификации паттернов, соответствующих ситуации, компонент рекомендации использует два метода: 1) метод, основанный на сопоставлении с образцом, 2) метод, основанный на машинном обучении. Первый метод опирается на совокупность правил оценки ситуаций, которая также была установлена на основе анализа профильной литературы, он не требует фактических накопленных данных о деятельности группы. Второй метод (основанный на машинном обучении) требует наличия определенной истории решения задач. Оба метода опираются на формальное представление текущей ситуации обсуждения – граф, вершины в котором соответствуют альтернативам, критериям, оценкам альтернатив. Так, в первом методе применяется поиск в этом графе подграфа, соответствующего непродуктивной ситуации, а во втором – граф дополняется признаками (например, количество альтернатив, количество голосов в пользу каждой и пр.) и используется для обучения модели, определяющей целесообразность применения того или иного паттерна.

Интеллектуальное пространство содержит онтолого-ориентированное представление текущего состояния и обеспечивает доступ к нему со стороны ИИ-агентов. Интеллектуальное пространство реализовано на языке Java с применением библиотеки Jena.

Выполнение ИИ-агентов происходит с использованием технологии контейнеризации (в частности, Docker) – для каждого ИИ-агента выделяется свой Docker-контейнер, доступ к состоянию проблемы производится через среду выполнения ИИ-агентов. Развертывание, выполнение и мониторинг ИИ-агентов контролируется менеджером агентов.

Все компоненты платформы (кроме интеллектуального пространства) реализованы на языке Python 3, оперативная база данных работает под управлением СУБД PostgreSQL.

В таблице 1 показана связь между основными проблемами, возникающими при построении КСППР, принципами, лежащими в основе предлагаемого подхода, а также компонентами и архитектурными решениями платформы создания КСППР.

Таблица 1. Реализация основных принципов в архитектуре

Проблема	Принцип	Компонент/ Механизм информационного взаимодействия
Интероперабельность	Структурированное (онтолого-ориентированное) представление информации	Интеллектуальное пространство, Компонент интерпретации естественного языка
Согласование различающихся позиций	Мониторинг работы команды, идентификация непродуктивных ситуаций и рекомендация паттернов коллективных действий	Компонент рекомендации паттернов взаимодействия
Доверие	Схема репутации, история участия, Объяснимый ИИ	Компонент формирования команды, Интерфейс взаимодействия с ИИ-агентом, поддерживающий предоставление объяснений
Баланс между гибкостью и контролем	Ограниченная самоорганизация	Совокупность средств, обеспечивающих возможность гибко планировать работы (схема репутации, рекомендация паттернов коллективной работы)

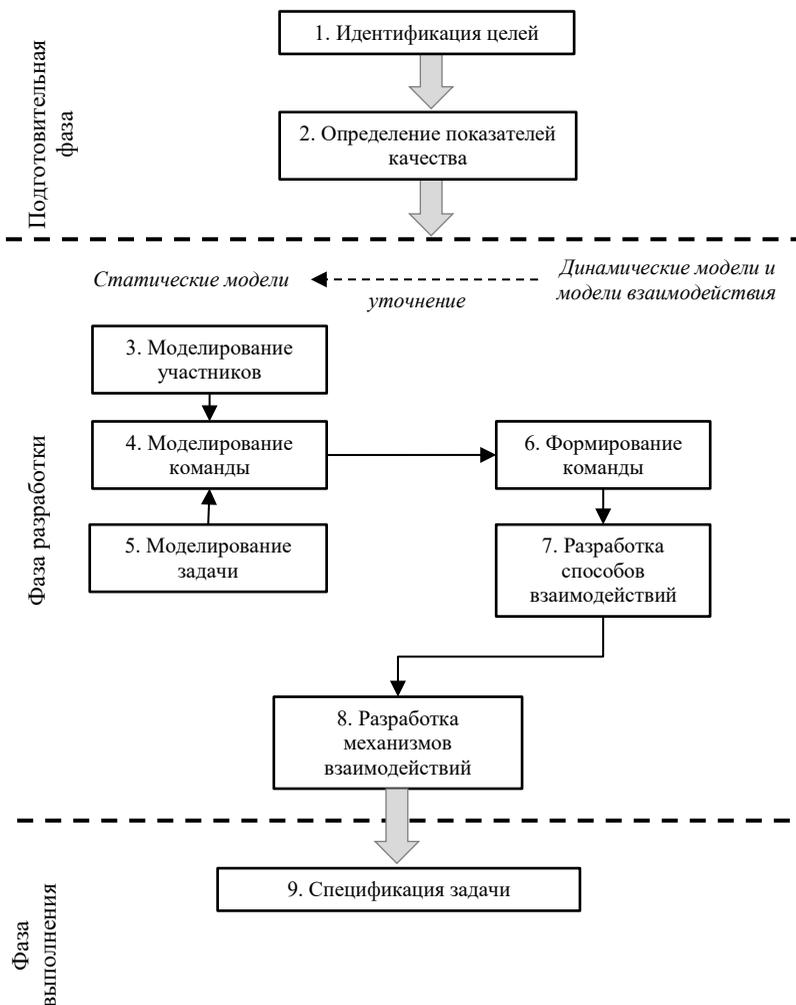


Рис. 3. Методология разработки КСППР

4.3. Создание КСППР на основе платформы. Процесс разработки коллаборативной СППР, в которой сотрудничают эксперты и ИИ-агенты, состоит из трех фаз (рисунок 3).

1) Подготовительная фаза. Основными задачами данной фазы являются идентификация целей КСППР, выбор участников и определение критериев для последующей оценки системы.

2) Фаза разработки. Это основная фаза. На ней создаются и определяются основные модели и механизмы. Эти модели и механизмы сильно зависят от возможностей коллаборативной человеко-машинной среды.

3) Фаза выполнения. На данной фазе реализуются процессы поддержки принятия решений, то есть осуществляется совместная деятельность участников по разрешению проблемной ситуации, сформулированной ЛПП на основе разработанных (на фазе разработки) моделей; совместная деятельность поддерживается выбранными или разработанными (на фазе разработки) механизмами. Далее по тексту проблемная ситуация рассматривается как задача ЛПП.

Распределение различных видов деятельности участников по фазам выглядит следующим образом.

1) Идентификация целей СППР. Первоочередная цель любой СППР – обеспечение качества поддержки принятия решений. Тем не менее, СППР может преследовать и дополнительные цели, например, развитие компетенций участников (применимо для внутрикорпоративной СППР).

2) Определение измеримых показателей качества для оценки идентифицированных целей. Показатели качества предлагаются различными методами и инструментами, которые также оказывают поддержку в их измерении. Например, модель оценки качества решений [41] может быть использована соответственно для оценки качества решений, модель для измерения эффективности СППР [42] предлагает методы и измеряемые факторы для оценки эффективности СППР, общая диагностическая система [43] предоставляет оценочные концепты для измерения и оценки компетенций и т.д.

3) Моделирование участников. Деятельность заключается в построении моделей участников (профилей). Здесь определяются основные характеристики экспертов и ИИ-агентов, которые влияют на эффективность команды, участниками которой они являются. Например, компетенции участников, их доступность и другие.

4) Моделирование команды. Данный вид деятельности связан с созданием профиля команды и определением ее основных характеристик. В зависимости от решаемой командой задачи, механизма координации, процедуры формирования команды и ее размера [44] возможен выбор между различными моделями команд. Например, модель Катценбаха и Смита [45] подходит для команд с небольшим количеством участников, которые объединились на определенное время, чтобы решить конкретную задачу; модель ЛаФасто и Ларсона [46] может быть использована, когда индивидуальные характеристики

участников (личные черты, навыки, способности и т.п.) являются основой для формирования команды; модель Роббинса и Джуди [47] полезна для согласования четырех аспектов производительности команды (контекст, состав, проект работы, процесс).

5) Моделирование задачи. Деятельность направлена на построение модели задачи, которая будет решаться командой как задача поддержки принятия решений. Она связана с разработкой или адаптацией онтолого-ориентированных моделей для а) спецификации задачи ЛПР как онтолого-ориентированного представления знаний проблемной области; б) спецификации задачи ЛПР как онтолого-ориентированного представления задачи поддержки принятия решений; в) онтолого-ориентированного представления структуры дискуссии как последовательности взаимодействий участников.

6) Формирование команды. Деятельность связана с разработкой процедуры формирования команды участников, которая учитывает цели системы, показатели качества и основные характеристики участников.

7) Разработка способов взаимодействий. Деятельность направлена на разработку или выбор способов взаимодействий участников, например, взаимодействия, основанные на ролях участников, непосредственные взаимодействия и другие.

8) Разработка механизмов взаимодействий. Данный вид деятельности связан с разработкой или выбором механизмов, которые поддерживают выбранные или разработанные в процессе предыдущей деятельности виды взаимодействий. Такие механизмы определяются моделью взаимодействия.

9) Спецификация задачи. Деятельность нацелена на использование механизмов мультиаспектной онтологии для получения обще-интерпретируемой модели задачи ЛПР.

Как сказано выше, фаза разработки является основной фазой процесса разработки коллаборативной СППР. Деятельность на этой фазе включает в себя два вида деятельности: 1) разработка статических (информационных) моделей для основных объектов КСППР, которыми являются участники, команда и задача, и 2) разработка динамических моделей (процессов), которые обеспечивают достижение целей КСППР. Данная фаза считается завершенной, когда получено множество непротиворечивых моделей и, при необходимости, механизмов, поддерживающих взаимодействие участников.

Зависимости между видами деятельности по обеспечению всего процесса разработки КСППР определяют последовательность их выполнения. Цели КСППР и задача определяют требования к команде.

В свою очередь эти требования определяют требования к участникам, из которых формируется команда. Следовательно, первоначально строится модель задачи, а затем модель команды. Модели участников могут создаваться независимо от указанных двух видов деятельности. Модель задачи, модель команды, модели участников и требования к участникам являются исходными данными для процедуры формирования команды. Спецификация динамических моделей часто требует уточнения статических (например, для реализации некоторого механизма требуется наличие у объекта определенных характеристик). Этот факт представлен на рисунке 3 в виде пунктирной стрелки между этими двумя видами моделей.

Фаза выполнения связана с присвоением значений переменным модели задачи ЛПР как задачи поддержки принятия решений.

5. Сценарий применения КСППР при принятии решений о выработке рекомендаций по снижению аварийности. Возможности платформы могут быть продемонстрированы на примере создания КСППР для разработки рекомендаций, направленных на устранение и профилактику возникновения участков концентрации дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Участком концентрации ДТП является участок автомобильной дороги протяженностью не более 1000 метров за пределами населенного пункта, 200 метров в населенном пункте или на перекрестке дорог, на котором произошло три и более ДТП одного вида или пять и более ДТП независимо от их вида в течение 12 месяцев, в результате чего погибли или получили ранения люди [48].

Сотрудничество, лежащее в основе этого сценария, предполагает, что партнерство между людьми и программными агентами предпочтительнее полной автоматизации [18]. ЛПР инициирует сотрудничество, предоставляя необходимую информацию команде ИИ-агентов и экспертов-людей. Агенты начинают предоставлять информацию и рекомендации команде экспертов с объяснениями. Эксперты могут согласиться со списком рекомендаций, согласиться с некоторыми рекомендациями или отклонить рекомендации агентов. Если эксперты достигают какого-то соглашения, они передают согласованные рекомендации ЛПР. Если агенты не могут предоставить какие-либо рекомендации, то эксперты и ИИ-агенты взаимодействуют для совместной разработки таких рекомендаций. Эксперты пересматривают совместно разработанные рекомендации и, если они их устраивают, передают рекомендации ЛПР. На основании рекомендаций, полученных от экспертов, ЛПР готовит заключение о рекомендуемых

мерах. Если команда не может предложить какие-либо рекомендации, то она информирует об этом ЛПР и предоставляет объяснение неудачи.

В этом сценарии в совместную команду входят ЛПР, три ИИ-агента и три человека-эксперта.

В группу ИИ-агентов входят:

- Аналитик происшествий – агент, предоставляющий информацию об участках концентрации ДТП, произошедших на конкретной административной территории, и анализирующий карточки учета происшествий (рисунок 4);

- Аналитик знаков – агент, предоставляющий информацию о дорожных знаках, установленных на участках концентрации дорожно-транспортных происшествий;

- Рекомендующий агент – ИИ-агент, предоставляющий рекомендации мероприятий по снижению и профилактике аварийности. Этот агент основан на знаниях, база знаний для него составлена с учетом Методических рекомендаций по выбору эффективных некапиталоемких мероприятий по снижению аварийности в местах концентрации дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах общего пользования [48] и Руководства по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог [49] (пример исходных данных для построения базы знаний приведен на рисунке 5).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Дата	19.10.2023	Время	11:50
Широта	60.0237	Долгота	30.2505
Номер ДТП	400086496	Вид ДТП	Столкновение



Адрес	Приморский район, г Санкт-Петербург пр-кт Королёва 48 к.1		
Дорога			
Значение дороги	Местного значения (дорога местного значения, включая относящиеся к собственности поселений, муниципальных районов, городских округов)		
Категория дороги			
Категория улицы	Улицы и дороги местного значения научно-производственных промышленных и коммунально-складских районов		

ДОРОЖНЫЕ УСЛОВИЯ

Объекты УДС на месте ДТП	Нерегулируемый перекрёсток равнозначных улиц (дорог)
Объекты УДС вблизи места ДТП	Многоквартирные жилые дома
Недостатки транспортно-эксплуатационного содержания улично-дорожной сети	Не установлены
Факторы, оказывающие влияние на режим движения	Сведения отсутствуют
Состояние погоды	Пасмурно
Состояние проезжей части	Мокрое
Освещение	Светлое время суток
Изменения в режиме движения	Режим движения не изменялся

Рис. 4. Пример карточки учета ДТП

Дорожные условия на участках концентрации ДТП	Основные мероприятия по повышению безопасности дорожного движения	Виды ДТП, на которые влияет мероприятие
1	2	3
Кривые в плане малого радиуса	Реконструкция участка с увеличением радиуса кривой в плане до нормативных значений или до значений, обеспечивающих плавность трассы; устройство виража (при его отсутствии), уширение проезжей части в пределах кривой; устройство разделительных островков; увеличение расстояния видимости (устройство зеркал, обеспечивающих заблаговременную видимость встречных автомобилей и устройство срезок видимости)	Опрокидывания и встречные столкновения транспортных средств
Крутые подъемы и спуски	Реконструкция продольного профиля с уменьшением продольных уклонов и увеличением радиусов вертикальных кривых; уширение проезжей части в пределах вертикальных кривых; устройство дополнительной полосы движения на подъеме; устройство аварийных объездов на спусках (для дорог в горной местности)	Встречные и попутные столкновения транспортных средств

Рис. 5. Пример методических рекомендаций, используемых для наполнения базы знаний (из ОДМ 218.4.004-2009)

В состав группы экспертов входят:

- ЛПР;
- ФДА – представитель Федерального дорожного агентства;
- Муниципальная администрация – представитель администрации;
- Инспектор полиции – представитель отдела ГИБДД.

Сценарий выполняется в рамках регулярного обследования, направленного на устранение и предотвращение аварий на участках скопления ДТП.

Реализация представленного сценария осуществляется с использованием предлагаемой платформы КСППР. Данная платформа обеспечивает формирование задач, подбор исполнителей для решения задачи согласно требуемым компетенциям и отслеживание хода решения задач. Исполнителями могут быть как люди, так и ИИ-агенты, взаимодействующие с платформой через REST API.

Для работы с задачами платформа предоставляет веб-интерфейс, через который пользователи могут просматривать общий список задач, отслеживать уведомления о приглашениях на новую задачу или о новых событиях в задачах, исполнителем которых уже является пользователь. Для каждой задачи доступно подробное описание, предполагаемые сроки ее выполнения, требуемые компетенции, возможное вознаграждение исполнителей и разбивка на

подзадачи. При наличии подзадач отображается график их зависимости и временная шкала со сроками выполнения подзадач. Обсуждение задач и подзадач осуществляется через встроенный мессенджер, в котором пользователи могут обмениваться своими решениями и комментировать их, вырабатывая совместное решение задачи. В обсуждении также участвуют агенты, выбранные на основе выполняемых ими функций (аналогично компетенциям для экспертов).

В соответствии с рассматриваемым сценарием при обнаружении места концентрации дорожно-транспортных происшествий ЛПР создает задачу, описывая координаты места и перечень дорожно-транспортных происшествий, а также указывая перечень компетенций, связанных с получением детальной информации о дорожно-транспортных происшествиях и соответствующем участке дорожной сети, формированием рекомендаций и оценкой эффекта предлагаемых рекомендаций. С использованием механизмов платформы осуществляется подбор программного обеспечения и экспертов для сбора данных и формирования рекомендаций, а также экспертов для обсуждения рекомендаций; формируются подзадачи; осуществляется взаимодействие между командой и ЛПР; предоставляется список возможных решений с обоснованием.

6. Заключение. В статье рассматривается концепция построения нового поколения систем поддержки принятия решений, основанных на следующих ключевых характеристиках. Во-первых, это активное применение ИИ на различных стадиях подготовки решения – начиная от анализа ситуации и формирования альтернатив, до их оценки и сопоставления. Во-вторых, это необходимость совместной работы, возникающая тогда, когда компетенций одного специалиста оказывается недостаточно для комплексного охвата проблемы и выработки возможных решений. Наконец, в-третьих, это динамический характер коллективов (команд), формируемых для работы над проблемой, что характерно для работы над нетипичными проблемами, принятия решений в изменяющихся условиях, когда не существует устоявшихся структур и их необходимо оперативно формировать. Каждая из этих характеристик как открывает новые перспективы с точки зрения оперативности и качества принимаемых решений, так и привносит ряд трудностей в структуру системы поддержки принятия решений и способ ее организации. Например, активное использование ИИ сопровождается возможными сомнениями в надежности решений, получаемых с его помощью, что вызвано недостаточной объяснимостью, привлечение нескольких участников

чревато возникновением противоречий, а динамический характер коллективов снижает взаимное доверие участников.

В статье выделены ключевые проблемы, присущие этому новому поколению систем поддержки принятия решений, основанных на взаимодействии между людьми-экспертами и ИИ-агентами, и предлагается подход к построению таких систем, обеспечивающий решение выделенных проблем. Отличительными особенностями предлагаемого подхода являются онтологическое представление информации о проблеме, модели взаимодействия и интерфейсы, поддерживающие объяснимый ИИ, поддержка совместной работы в виде настраиваемых алгоритмов формирования команды и мониторинга взаимодействия.

В рамках подхода делается несколько допущений, которые могут ограничить его применимость. Так, ключевую роль в предложенном подходе играет онтолого-ориентированное представление информации о проблеме, что позволяет существенно упростить взаимодействие внутри разнородного коллектива (людей-экспертов и ИИ-агентов). Таким образом, предлагаемый подход предназначен, в первую очередь, для построения КСППР в проблемных областях, где либо уже есть качественные онтологии, либо они могут быть относительно легко созданы. Кроме того, применение подхода целесообразно для решения достаточно сложных задач, не только требующих знаний и опыта нескольких экспертов, но выходящих за пределы жестко определенных сценариев взаимодействия.

Основные идеи подхода реализованы в программной платформе, которая предоставляет набор механизмов и интерфейсов, упрощающих разработку КСППР: поддержку формирования команд и совместной работы, интерфейсы для определения, развертывания ИИ-агентов и управления ими, а также набор структурированных представлений, облегчающих взаимодействие между экспертами-людьми и ИИ-агентами.

В статье также показан пример сценария сотрудничества, который можно реализовать с использованием предлагаемой платформы – принятие решения о выборе мероприятий по снижению аварийности.

Литература

1. Schall D. Service-Oriented Crowdsourcing: Architecture, Protocols and Algorithms. New York: Springer New York, 2012. 94 p.
2. Smirnov A., Shilov N., Ponomarev A., Schekotov M. Human-computer cloud: Application platform and dynamic decision support // CLOSER 2019 – Proceedings

- of the 9th International Conference on Cloud Computing and Services Science. 2019. vol. 1. pp. 120–131.
3. Retelny D., Bernstein M.S., Valentine M.A. No Workflow Can Ever Be Enough: How Crowdsourcing Workflows Constrain Complex Work // Proc. ACM Human-Computer Interact. 2017. vol. 1. no. 2.
 4. Valentine M.A., Retelny D., To A., Rahmati N., Doshi T., Bernstein M.S. Flash Organizations: Crowdsourcing Complex Work By Structuring Crowds As Organizations // Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI '17. 2017. pp. 3523–3537.
 5. Salehi N. et al. Huddler: Convening stable and familiar crowd teams despite unpredictable availability // Proc. ACM Conf. Comput. Support. Coop. Work (CSCW). 2017. pp. 1700–1713.
 6. Lykourentzou I., Vinella F., Ahmed F., Papastathis C., Papangelis K., Khan V.-J., Masthoff J. Self-organization in online collaborative work settings // Collect. Intell. 2022. vol. 1(1). no. 263391372210780.
 7. Terveen L.G. Overview of human-computer collaboration // Knowledge-Based Syst. 1995. vol. 8. no. 2–3. pp. 67–81.
 8. Elmarzouqi N., Garcia E., Lapayre J.-C. CSCW from Coordination to Collaboration. 11th International Conference CSCWD. 2008. pp. 87–98.
 9. Karacapilidis N., Tampakas V. On the Exploitation of Collaborative Argumentation Structures for Inducing Reasoning Behavior // Proceedings of the 18th International Conference on WWW/Internet 2019. IADIS Press, 2019. pp. 78–84.
 10. Adla A., Zarate P., Soubie J.-L. A Proposal of Toolkit for GDSS Facilitators // Gr. Decis. Negot. 2011. vol. 20. no. 1. pp. 57–77.
 11. Bittner E., Shoury O. Designing Automated Facilitation for Design Thinking: A Chatbot for Supporting Teams in the Empathy Map Method // Proc. 52nd Hawaii Int. Conf. Syst. Sci. 2019. pp. 227–236.
 12. Gu W., Moustafa A.A., Ito T., Zhang M., Yang C. A case-based reasoning approach for automated facilitation in online discussion systems // KICSS 2018 – 13th Int. Conf. Knowledge, Inf. Creat. Support Syst. Proc. 2018. vol. 30. pp. 719–742. DOI: 10.1007/s10726-021-09731-4.
 13. Kolfshoten G.L., De Vreede G.J. The collaboration engineering approach for designing collaboration processes // Proceedings of the 13th International Workshop, CRIWG 2007. 2007. vol. 4715 LNCS. pp. 95–110.
 14. Ito T. et al. D-Agree: Crowd Discussion Support System Based on Automated Facilitation Agent // Proc. AAAI Conf. Artif. Intell. 2020. vol. 34. no. 09. pp. 13614–13615.
 15. Смирнов А.В., Левашова Т.В., Пономарев А.В. Онтологическая модель поддержки принятия решений на основе человеко-машинного коллективного интеллекта // Искусственный интеллект и принятие решений. 2020. № 3. pp. 48–60.
 16. Lee M.H., Siewiorek D.P., Smailagic A., Bernardino A., Bermúdez i Badia S.B. A Human-AI Collaborative Approach for Clinical Decision Making on Rehabilitation Assessment // Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2021. pp. 1–14.
 17. Bosch K., Bronkhorst A. Human-AI cooperation to benefit military decision making // Proceedings of Specialist Meeting Big Data & Artificial Intelligence for Military Decision Making. 2018.
 18. Pohl J. Collaborative Decision-Support and the Human-Machine Relationship // A Decision-Making Tools Workshop. San Luis: Collaborative Agent Design Research Center, 2019. pp. 21–46.

19. Chen J., Lim C.P., Tan K.H., Govindan K., Kumar A. Artificial intelligence-based human-centric decision support framework: an application to predictive maintenance in asset management under pandemic environments // *Ann. Oper. Res.* 2021. DOI: 10.1007/s10479-021-04373-w.
20. Bouabdallaoui Y., Lafhaj Z., Yim P., Ducoulombier L., Bennadji B. Predictive Maintenance in Building Facilities: A Machine Learning-Based Approach // *Sensors*. 2021. vol. 21(4), no. 1044.
21. Kase S.E. et al. The Future of Collaborative Human-Artificial Intelligence Decision-Making for Mission Planning // *Front. Psychol.* 2022. vol. 13. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.850628.
22. Puranam P. Human-AI collaborative decision-making as an organization design problem // *Journal of Organization Design*. 2021. vol. 10. no. 2. pp. 75–80.
23. Lai V., Carton S., Bhatnagar R., Liao V., Zhang Y., Tan C. Human-AI Collaboration via Conditional Delegation: A Case Study of Content Moderation // *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2022. pp. 1–18.
24. Cortes C., DeSalvo G., Mohri M. Learning with Rejection // *Proceedings of the 27th International Conference on Algorithmic Learning Theory, ALT 2016*. Cham: Springer, 2016. vol. 9925. pp. 67–82.
25. Fugener A., Grahl J., Gupta A., Ketter W. Cognitive Challenges in Human – Artificial Intelligence Collaboration: Investigating the Path Toward Productive Delegation // *Inf. Syst. Res.* 2022. vol. 33. no. 2. pp. 678–696.
26. Dellermann D., Calma A., Lipusch N., Weber T., Weigel S., Ebel P. The Future of Human-AI Collaboration: A Taxonomy of Design Knowledge for Hybrid Intelligence Systems // *Proceedings of the 52nd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. 2019. pp. 274–283.
27. Peleteiro A. et al. Using reputation and adaptive coalitions to support collaboration in competitive environments // *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2015. vol. 45. pp. 325–338.
28. Burkart N., Huber M.F. A survey on the explainability of supervised machine learning // *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2021. vol. 70. pp. 245–317.
29. Smirnov A., Ponomarev A., Levashova T. Towards a Methodology for Developing Human-AI Collaborative Decision Support Systems // *International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications*. Springer, Cham, 2023. pp. 69–88.
30. Smirnov A., Levashova T., Ponomarev A., Shilov N. Methodology for Multi-Aspect Ontology Development: Ontology for Decision Support Based on Human-Machine Collective Intelligence // *IEEE Access*. 2021. vol. 9. pp. 135167–135185.
31. de Sousa Ribeiro M., Leite J. Aligning Artificial Neural Networks and Ontologies towards Explainable AI // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2021. vol. 35. no. 6. pp. 4932–4940.
32. Seeliger A., Pfaff M., Krcmar H. Semantic web technologies for explainable machine learning models: A literature review // *Joint Proceedings of the 6th International Workshop on Dataset PROFILING and the 1st Workshop on Semantic Explainability with the 18th International Semantic Web Conference (ISWC)*. 2019. vol. 2465. pp. 30–45.
33. Smirnov A., Ponomarev A. Stimulating Self-Organization in Human-Machine Collective Intelligence Environment // *2021 IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management (CogSIMA)*. IEEE, 2021. pp. 94–102.
34. Xiong W., Fan H., Ma L., Wang C. Challenges of human—machine collaboration in risky decision-making // *Frontiers of Engineering Management*. 2022. vol. 9. no. 1. pp. 89–103.

35. Dellermann D., Calma A., Lipusch N., Weber T., Weigel S., Ebel P. The future of Human-AI collaboration: A taxonomy of design knowledge for hybrid intelligence systems // Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci. 2019. pp. 274–283.
36. Sandkuhl K., Shilov N., Smirnov A. Facilitating Digital Transformation by Multi-Aspect Ontologies: Approach and Application Steps // IFAC-PapersOnLine. 2019. vol. 52. no. 13. p. 1609–1614.
37. Korzun D.G., Balandin S.I., Gurtov A.V. Deployment of Smart Spaces in Internet of Things: Overview of the Design Challenges. Conference on Internet of Things and Smart Spaces. 2013. pp. 48–59.
38. Roffia L., Morandi F., Kiljander J., D’Elia A., Vergari F., Viola F., Bononi L., Cinotti T.S. A Semantic Publish-Subscribe Architecture for the Internet of Things // IEEE Internet Things J. 2016. vol. 3. no. 6. pp. 1274–1296.
39. Shilov N., Ponomarev A., Smirnov A. The Analysis of Ontology-Based Neuro-Symbolic Intelligence Methods for Collaborative Decision Support // Informatics Autom. 2023. vol. 22. no. 3. pp. 576–615.
40. The PROV Ontology. URL: <https://www.w3.org/TR/prov-o/> (accessed: 28.01.2020).
41. Spetzler C., Winter H., Meyer J. Decision Quality: Value Creation from Better Business Decisions. Wiley, 2016. 256 p.
42. Fayoumi A.G. Evaluating the Effectiveness of Decision Support System: Findings and Comparison // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2018. vol. 9. no. 10. pp. 195–200.
43. Straka G.A. Measurement and evaluation of competence. Luxembourg, 2004. 263–311 p.
44. Is Your Team Too Big? Too Small? What’s the Right Number? // Knowledge at Wharton Podcast. Knowledge at Wharton. 2006. vol. 14.
45. Katzenbach J.R., Smith D.K. The Wisdom of Teams: Creating the High-Performance Organization. Reprint ed. Harvard: Harvard Business Review Press, 2015. 304 p.
46. LaFasto F., Larson C. When Teams Work Best: 6,000 Team Members and Leaders Tell What it Takes to Succeed. 1st ed. SAGE Publications, Inc, 2001. 256 p.
47. Robbins S.P., Judge T.A. Organizational Behavior. 12th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006. 792 p.
48. Методические рекомендации по выбору эффективных некапиталоемких мероприятий по снижению аварийности в местах концентрации дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах общего пользования: ОДМ 218.6.025–2017. Москва, 2020. 46 p.
49. Руководство по устранению и профилактике возникновения участков концентрации ДТП при эксплуатации автомобильных дорог: ОДМ 218.4.004–2009. Москва, 2009. 94 с.

Смирнов Александр Викторович — д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории, лаборатория интегрированных систем автоматизации, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН). Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, интеллектуальные системы, интеллектуальное управление конфигурациями виртуальных и сетевых организаций, логистика знаний. Число научных публикаций — 400. smir@iias.spb.su; 14-я линия В.О., 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; т.р.: +7(812)328-8071.

Пономарев Андрей Васильевич — канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН). Область научных интересов: коллективный интеллект, крауд-вычисления,

рекомендательные системы, машинное обучение. Число научных публикаций — 70. ronomarev@iias.spb.su; 14-я линия В.О., 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7(812)328-8071.

Шилов Николай Германович — канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН). Область научных интересов: искусственный интеллект, управление знаниями, управление онтологиями, моделирование и конфигурирование сложных систем, машинное обучение. Число научных публикаций — 300. nick@iias.spb.su; 14-я линия В.О., 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7(812)328-8071.

Левашова Татьяна Викторовна — старший научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН). Область научных интересов: управление знаниями, онтологии, контекстно-управляемые системы, человеко-машинное сотрудничество, поддержка принятия решений. Число научных публикаций — 150. tatiana.levashova@iias.spb.su; 14-я линия В.О., 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7(812)328-8071.

Тесля Николай Николаевич — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН). Область научных интересов: управление знаниями, человеко-машинное взаимодействие, онтологии, интеллектуальные пространства, геоинформационные системы, обработка текста на естественном языке. Число научных публикаций — 80. teslya@iias.spb.su; 14-я линия В.О., 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7(812)328-8071.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 22-11-00214), отдельные компоненты (в частности, компонент рекомендации паттернов взаимодействия) разработаны в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0005 СПб ФИЦ РАН.

A. SMIRNOV, A. PONOMAREV, N. SHILOV, T. LEVASHOVA, N. TESLYA
**A CONCEPTION OF COLLABORATIVE DECISION SUPPORT
SYSTEMS: APPROACH AND PLATFORM ARCHITECTURE**

Smirnov A., Ponomarev A., Shilov N., Levashova T., Teslya N. **A Conception of Collaborative Decision Support Systems: Approach and Platform Architecture.**

Abstract. The paper describes a general conception of collaborative decision support systems, in which teams providing decision support a) are formed flexibly in accordance with the problem and b) consist of both human experts and intelligent agents implementing AI methods and techniques. An analysis of the key problems of creating collaborative decision support systems based on the collaboration of humans and AI is carried out, the following problems are highlighted: ensuring interoperability (mutual understanding) between heterogeneous team members, reconciling differing positions of participants, ensuring trust between participants, ensuring the effectiveness of joint actions planning and maintaining a balance between predefined workflows and self-organization. Principles for constructing such systems have been formed, offering solutions to the identified problems. In particular, it is proposed to employ an ontology-oriented representation of information about the problem (in the form of multi-aspect ontology), a set of methods for monitoring team activities, reputation scheme, elements of explainable AI, as well as mechanisms of limited self-organization. The proposed concept forms the basis of a software platform for the development of collaborative decision support systems, the main architectural provisions of which are also presented in the paper. The use of the platform is illustrated by an example from the field of rational management of road infrastructure and the creation of a collaborative DSS for the development of measures to reduce road accidents.

Keywords: decision support system, collaborative systems, ontologies, guided self-organization, human-computer interaction.

References

1. Schall D. *Service-Oriented Crowdsourcing: Architecture, Protocols and Algorithms.* New York: Springer New York, 2012. 94 p.
2. Smirnov A., Shilov N., Ponomarev A., Schekotov M. Human-computer cloud: Application platform and dynamic decision support. CLOSER 2019 – Proceedings of the 9th International Conference on Cloud Computing and Services Science. 2019. vol. 1. pp. 120–131.
3. Retelny D., Bernstein M.S., Valentine M.A. No Workflow Can Ever Be Enough: How Crowdsourcing Workflows Constrain Complex Work. *Proc. ACM Human-Computer Interact.* 2017. vol. 1. no. 2.
4. Valentine M.A., Retelny D., To A., Rahmati N., Doshi T., Bernstein M.S. Flash Organizations: Crowdsourcing Complex Work By Structuring Crowds As Organizations. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI '17.* 2017. pp. 3523–3537.
5. Salehi N. et al. Huddler: Convening stable and familiar crowd teams despite unpredictable availability. *Proc. ACM Conf. Comput. Support. Coop. Work (CSCW).* 2017. pp. 1700–1713.
6. Lykourantzou I., Vinella F., Ahmed F., Papastathis C., Papangelis K., Khan V.-J., Masthoff J. Self-organization in online collaborative work settings. *Collect. Intell.* 2022. vol. 1(1). no. 263391372210780.

7. Terveen L.G. Overview of human-computer collaboration. *Knowledge-Based Syst.* 1995. vol. 8. no. 2–3. pp. 67–81.
8. Elmarzouqi N., Garcia E., Lapayre J.-C. CSCW from Coordination to Collaboration. 11th International Conference CSCWD. 2008. pp. 87–98.
9. Karacapılıdīs N., Tampakas V. On the Exploitation of Collaborative Argumentation Structures for Inducing Reasoning Behavior. *Proceedings of the 18th International Conference on WWW/Internet 2019.* IADIS Press, 2019. pp. 78–84.
10. Adla A., Zarate P., Soubie J.-L. A Proposal of Toolkit for GDSS Facilitators. *Gr. Decis. Negot.* 2011. vol. 20. no. 1. pp. 57–77.
11. Bittner E., Shoury O. Designing Automated Facilitation for Design Thinking: A Chatbot for Supporting Teams in the Empathy Map Method. *Proc. 52nd Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.* 2019. pp. 227–236.
12. Gu W., Moustafa A.A., Ito T., Zhang M., Yang C. A case-based reasoning approach for automated facilitation in online discussion systems. *KICSS 2018 – 13th Int. Conf. Knowledge, Inf. Creat. Support Syst. Proc.* 2018. vol. 30. pp. 719–742. DOI: 10.1007/s10726-021-09731-4.
13. Kolfšchoten G.L., De Vreede G.J. The collaboration engineering approach for designing collaboration processes. *Proceedings of the 13th International Workshop, CRIWG 2007.* vol. 4715 LNCS. pp. 95–110.
14. Ito T. et al. D-Agree: Crowd Discussion Support System Based on Automated Facilitation Agent. *Proc. AAAI Conf. Artif. Intell.* 2020. vol. 34. no. 09. pp. 13614–13615.
15. Smirnov A., Levashova T., Ponomarev A. [Ontological model of decision support based on human-machine collective intelligence] // *Artificial Intelligence and Decision Making – Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij*. 2020. no. 3. pp. 48–60. (In Russ.).
16. Lee M.H., Siewiorek D.P., Smailagic A., Bernardino A., Bermúdez i Badia S.B. A Human-AI Collaborative Approach for Clinical Decision Making on Rehabilitation Assessment. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.* 2021. pp. 1–14.
17. Bosch K., Bronkhorst A. Human-AI cooperation to benefit military decision making. *Proceedings of Specialist Meeting Big Data & Artificial Intelligence for Military Decision Making.* 2018.
18. Pohl J. Collaborative Decision-Support and the Human-Machine Relationship. *A Decision-Making Tools Workshop.* San Luis: Collaborative Agent Design Research Center, 2019. pp. 21–46.
19. Chen J., Lim C.P., Tan K.H., Govindan K., Kumar A. Artificial intelligence-based human-centric decision support framework: an application to predictive maintenance in asset management under pandemic environments. *Ann. Oper. Res.* 2021. DOI: 10.1007/s10479-021-04373-w.
20. Bouabdallaoui Y., Lafhaj Z., Yim P., Ducoulombier L., Bennadji B. Predictive Maintenance in Building Facilities: A Machine Learning-Based Approach. *Sensors.* 2021. vol. 21(4). no. 1044.
21. Kase S.E. et al. The Future of Collaborative Human-Artificial Intelligence Decision-Making for Mission Planning. *Front. Psychol.* 2022. vol. 13. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.850628.
22. Puranam P. Human-AI collaborative decision-making as an organization design problem. *Journal of Organization Design.* 2021. vol. 10. no. 2. pp. 75–80.
23. Lai V., Carton S., Bhatnagar R., Liao V., Zhang Y., Tan C. Human-AI Collaboration via Conditional Delegation: A Case Study of Content Moderation. *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.* 2022. pp. 1–18.

24. Cortes C., DeSalvo G., Mohri M. Learning with Rejection. Proceedings of the 27th International Conference on Algorithmic Learning Theory, ALT 2016. Cham: Springer, 2016. vol. 9925. pp. 67–82.
25. Fugener A., Grahl J., Gupta A., Ketter W. Cognitive Challenges in Human – Artificial Intelligence Collaboration: Investigating the Path Toward Productive Delegation. Inf. Syst. Res. 2022. vol. 33. no. 2. pp. 678–696.
26. Dellermann D., Calma A., Lipusch N., Weber T., Weigel S., Ebel P. The Future of Human-AI Collaboration: A Taxonomy of Design Knowledge for Hybrid Intelligence Systems. Proceedings of the 52nd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. 2019. pp. 274–283.
27. Peleteiro A. et al. Using reputation and adaptive coalitions to support collaboration in competitive environments. Eng. Appl. Artif. Intell. 2015. vol. 45. pp. 325–338.
28. Burkart N., Huber M.F. A survey on the explainability of supervised machine learning. Journal of Artificial Intelligence Research. 2021. vol. 70. pp. 245–317.
29. Smirnov A., Ponomarev A., Levashova T. Towards a Methodology for Developing Human-AI Collaborative Decision Support Systems. International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications. Springer, Cham, 2023. pp. 69–88.
30. Smirnov A., Levashova T., Ponomarev A., Shilov N. Methodology for Multi-Aspect Ontology Development: Ontology for Decision Support Based on Human-Machine Collective Intelligence. IEEE Access. 2021. vol. 9. pp. 135167–135185.
31. de Sousa Ribeiro M., Leite J. Aligning Artificial Neural Networks and Ontologies towards Explainable AI. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2021. vol. 35. no. 6. pp. 4932–4940.
32. Seeliger A., Pfaff M., Krcmar H. Semantic web technologies for explainable machine learning models: A literature review. Joint Proceedings of the 6th International Workshop on Dataset PROFILING and the 1st Workshop on Semantic Explainability with the 18th International Semantic Web Conference (ISWC). 2019. vol. 2465. pp. 30–45.
33. Smirnov A., Ponomarev A. Stimulating Self-Organization in Human-Machine Collective Intelligence Environment. 2021 IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management (CogSIMA). IEEE, 2021. pp. 94–102.
34. Xiong W., Fan H., Ma L., Wang C. Challenges of human—machine collaboration in risky decision-making. Frontiers of Engineering Management. 2022. vol. 9. no. 1. pp. 89–103.
35. Dellermann D., Calma A., Lipusch N., Weber T., Weigel S., Ebel P. The future of Human-AI collaboration: A taxonomy of design knowledge for hybrid intelligence systems. Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci. 2019. pp. 274–283.
36. Sandkuhl K., Shilov N., Smirnov A. Facilitating Digital Transformation by Multi-Aspect Ontologies: Approach and Application Steps. IFAC-PapersOnLine. 2019. vol. 52. no. 13. p. 1609–1614.
37. Korzun D.G., Balandin S.I., Gurtov A.V. Deployment of Smart Spaces in Internet of Things: Overview of the Design Challenges. Conference on Internet of Things and Smart Spaces. 2013. pp. 48–59.
38. Roffia L., Morandi F., Kiljander J., D’Elia A., Vergari F., Viola F., Bononi L., Cinotti T.S. A Semantic Publish-Subscribe Architecture for the Internet of Things. IEEE Internet Things J. 2016. vol. 3. no. 6. pp. 1274–1296.
39. Shilov N., Ponomarev A., Smirnov A. The Analysis of Ontology-Based Neuro-Symbolic Intelligence Methods for Collaborative Decision Support. Informatics Autom. 2023. vol. 22. no. 3. pp. 576–615.

40. The PROV Ontology. Available at: <https://www.w3.org/TR/prov-o/> (accessed: 28.01.2020).
41. Spetzler C., Winter H., Meyer J. Decision Quality: Value Creation from Better Business Decisions. Wiley, 2016. 256 p.
42. Fayoumi A.G. Evaluating the Effectiveness of Decision Support System: Findings and Comparison. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2018. vol. 9. no. 10. pp. 195–200.
43. Straka G.A. Measurement and evaluation of competence. Luxembourg, 2004. 263–311 p.
44. Is Your Team Too Big? Too Small? What's the Right Number? Knowledge at Wharton Podcast. Knowledge at Wharton. 2006, vol. 14.
45. Katzenbach J.R., Smith D.K. The Wisdom of Teams: Creating the High-Performance Organization. Reprint ed. Harvard: Harvard Business Review Press, 2015. 304 p.
46. LaFasto F., Larson C. When Teams Work Best: 6,000 Team Members and Leaders Tell What it Takes to Succeed. 1st ed. SAGE Publications, Inc, 2001. 256 p.
47. Robbins S.P., Judge T.A. Organizational Behavior. 12th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006. 792 p.
48. Metodicheskie rekomendacii po vyboru effektivnyh nekapitaloemkih meropriyatij po snizheniyu avarijnosti v mestah koncentracii dorozhno-transportnyh proisshestvij na avtomobil'nyh dorogah obshchego pol'zovaniya [Methodological recommendations for the selection of effective non-capital-intensive measures to reduce accident rates in places where traffic accidents are concentrated on public roads]: ODM 218.6.025–2017. Moscow, 2020. 46 p. (In Russ.).
49. Rukovodstvo po ustraneniyu i profilaktike vozniknoveniya uchastkov koncentracii DTP pri ekspluatatsii avtomobil'nyh dorog [Guidelines for eliminating and preventing the occurrence of accident concentration areas during the operation of highways]: ODM 218.4.004–2009. Moscow, 2009. 94 p. (In Russ.).

Smirnov Alexander — Ph.D., Dr.Sci., Professor, Chief researcher, head of the laboratory, Computer-aided integrated systems laboratory, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS). Research interests: decision support systems, intelligent systems, intelligent configuration management in virtual and network organizations, knowledge logistics. The number of publications — 400. smir@iias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7(812)328-8071.

Ponomarev Andrew — Ph.D., Associate Professor, Senior researcher, Computer-aided integrated systems laboratory, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS). Research interests: collective intelligence, crowd computing, recommender systems, applied machine learning. The number of publications — 70. ponomarev@iias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7(812)328-8071.

Shilov Nikolay — Ph.D., Associate Professor, Senior researcher, Computer-aided integrated systems laboratory, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS). Research interests: artificial intelligence, knowledge management, ontology management, complex system modelling and configuration, machine learning. The number of publications — 300. nick@iias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7(812)328-8071.

Levashova Tatiana — Senior researcher, Computer-aided integrated systems laboratory, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS). Research interests: knowledge management, ontologies, context-based systems, human-

machine collaboration, decision support. The number of publications — 150. tatiana.levashova@iias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7(812)328-8071.

Teslya Nikolay — Ph.D., Senior researcher, Computer-aided integrated systems laboratory, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS). Research interests: knowledge management, human-machine interaction, ontologies, smart spaces, geographic information systems, natural language processing. The number of publications — 80. teslya@iias.spb.su; 39, 14-th Line V.O., 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7(812)328-8071.

Acknowledgements. This research is funded by the Russian Science Foundation (grant 22-11-00214), some platform components (in particular, the collaboration patterns recommendation component) are developed in the scope of state research topic FFZF-2022-0005 of SPC RAS.