

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ГРУПП

© 2022 Т. В. Левашова✉

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук
14 линия, 39, 199178 С.-Петербург, Российская Федерация*

Аннотация. Целью статьи является разработка онтологической модели формирования человеко-машинных групп. Одной из проблем на этапе организации человеко-машинной группы является необходимость взаимодействия потенциальных участников группы — людей и вычислительных ресурсов — для обмена информацией о своих целях и возможностях. Онтологии позволяют представлять знания, требующиеся для формирования человеко-машинных групп, и являются общепризнанным средством поддержки взаимодействия разнородных объектов, что обуславливает актуальность цели исследований. Научная новизна заключается в интеграции в онтологическую модель видов знаний, которые выделяются в различных исследованиях как необходимые для рассмотрения при формировании человеко-машинных групп. Статья содержит обзор рассмотренных исследований, предлагает вопросы компетенции к онтологической модели формирования человеко-машинных групп, и представляет онтологическую контекстно-ориентированную модель формирования таких групп. Данная модель предлагает концепты и механизмы, требующиеся при формировании человеко-машинных групп, и позволяет организовать контекстно-ориентированное взаимодействие людей и вычислительных ресурсов с целью их присоединения к такой группе.

Ключевые слова: человеко-машинная группа, онтологическая модель, контекст.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования в области человеко-машинного сотрудничества показали, что эффективным подходом к решению сложных задач, когда человек или компьютер не могут их решить по-отдельности вне зависимости друг от друга, является решение таких задач человеко-машинной группой, которая состоит из людей и вычислительных ресурсов. Таким группам присуще целенаправленное коллективное поведение микро-уровня, при котором участники группы объединены общей целью и деятельностью, а также имеют возможность непосредственного взаимодействия друг с другом [1].

Для формирования человеко-машинных групп необходимо, чтобы люди и ресурсы

были способны к взаимодействию и представляли, какие к ним предъявляются требования, чтобы они могли полноценными партнерами. В данной работе проблема формирования человеко-машинных групп рассматривается с точки зрения обеспечения сторон, задействованных в процедуре формирования, необходимыми знаниями. Для представления этих знаний разработана онтологическая модель формирования человеко-машинных групп. Поскольку любое взаимодействие происходит в конкретной ситуации, другими словами в контексте, данная модель является контекстно-ориентированной.

1. ЗНАНИЯ, ТРЕБУЮЩИЕСЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ГРУПП

Любое целенаправленное коллективное поведение подразумевает скоординирован-

✉ Левашова Татьяна Викторовна
e-mail: tatiana.levashova@iias.spb.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ную, управляемую и целенаправленную деятельность коллектива над решением общей задачи (достижением общей цели) по правилам, выработанным совместно участниками этого коллектива. Отличительными особенностями человеко-машинной группы являются взаимозависимость участников и их намерение действовать совместно. Взаимозависимость означает, что цель может быть достигнута только, если участники работают совместно, а автономно, в одиночку, вне взаимодействия друг с другом достижение цели невыполнимо. Намерения отражают задуманный участником план действий для достижения цели или выполнения некоторого вида работ, а также сигнализируют о том, что один участник намерен помочь другому [2].

В работе, в которой исследуется роль взаимозависимости участников в командной деятельности [3], отмечается что целенаправленная деятельность коллектива определяется наличием двух вещей, обе из которых должны присутствовать, чтобы обеспечить возможность формирования человеко-машинной группы. Это явно или неявно сформулированная цель и предварительный план ее достижения. При этом цель и план должны одинаково пониматься всеми участниками. Цель определяет направление плана, обуславливает намерения участников объединиться, чтобы вместе этот план реализовывать. В процессе реализации план может уточняться и изменяться. Одной цели для формирования группы недостаточно, так как она не дает конкретного представления о путях ее достижения и том, что конкретный участник может сделать для этого. Например, цель «мир во всем мире» является для индивидов абстракцией, пока они не видят своего места в процессе ее достижения.

Для составления предварительного плана необходимо иметь представление о работе, которую надо выполнить, чтобы цель была достигнута. Такое представление создается на основании требований к работе и описания ее специфики. Требования к работе определяют, например, должны ли включенные в план виды работ выполняться в определенном порядке, задан ли способ их выполнения,

и требуется ли для их выполнения более одного исполнителя.

Различают две формы коллективного поведения участников человеко-машинной группы: кооперация и сотрудничество. Кооперацией называется совместно-последовательная деятельность, при которой участники человеко-машинной группы вносят вклад в один и тот же или в различные, связанные между собой виды работ, а каждый вид работ преследует собственную цель. Под сотрудничеством понимается совместно-взаимодействующая деятельность, когда участники действуют вместе для достижения общей цели [4, 5]. Для различения указанных форм поведения используют три критерия: симметричность, общие и совместные цели, разделение труда [6, 7].

Симметричность. При кооперации участники могут выполнять разные виды работ (например, при последовательном распределении видов работ каждый участник выполняет один из видов), обладать разными компетенциями (то есть, участники должны уметь выполнять те виды работ, за которые они отвечают, и им не требуются знания о том, как выполнять другие виды работ, представленные в плане достижения цели), возможно наличие статусной иерархии как для всего процесса выполнения работы, так и для отдельных видов работ. Под статусом понимается правовой статус участника по отношению к группе. Сотрудничество предполагает достаточно жесткую симметрию между действиями по выполнению различных видов работ, компетенциями и статусом. Здесь все участники имеют право выполнять одинаковые виды работ (симметрия действий), все участники (примерно) одинаково компетентны в области выполняемой общей работы, а не отдельных видов работ (симметрия компетенций), у всех участников одинаковый статус (симметрия статусов). Абсолютная симметрия, по крайней мере применительно к человеку, невозможна, так как, например, нет людей, обладающих совершенно одинаковыми знаниями. При сотрудничестве эта проблема решается посредством определения достаточности знаний участника для выполнения всех видов работ в плане достижения цели.

Общие и индивидуальные цели. Под общей целью понимается цель, которая должна быть достигнута человеко-машинной группой. Индивидуальной целью считается цель участника, которую он преследует, вступая в группу. Так же, как и общая цель, индивидуальные цели должны быть понятны всем участникам. Для кооперации достаточно, чтобы участники разделяли похожие цели (например, качественно выполняли виды работ, за которые они отвечают). Сотрудничество требует, чтобы участники были устремлены на достижение общей цели, которая выходит за рамки их индивидуальных целей.

Разделение труда. При кооперации участники делят всю работу между собой, выполняют отдельные виды работ самостоятельно, а затем собирают и объединяют результаты своей деятельности в общий результат. Работы могут выполняться асинхронно. При сотрудничестве участники выполняют работу вместе как одна команда (например, вместе переносят некоторый объект, поют в хоре и т. п.), что предполагает синхронное (одновременное) выполнение работ. Для кооперативной деятельности требуется, чтобы участники могли взаимно дополнять друг друга в ходе достижения цели, для сотрудничества необходимо, чтобы они были взаимозаменяемы.

Говоря о разделении труда, следует отметить, что формирование человеко-машинных групп, ориентированных на кооперативную форму коллективных действий, основано на ролевом принципе. Под ролью понимается набор задач (видов работ), который определяет сферу ответственности участника, и, соответственно, неявно указывает, какие задачи могут быть оставлены для выполнения другими участниками [3]. Данный подход может быть реализован двояко — посредством концепций автоматизации или регулируемой автономии.

Согласно концепции автоматизации, роли определяются до формирования команды, за каждой ролью закрепляется множество задач (видов работ), и в процессе формирования команды каждому участнику назначается роль в соответствии с его компетенциями. Следствием такого распределения работ яв-

ляется то, что участникам заранее известно, какие задачи будут компьютеризированы, а за выполнение каких задач будет отвечать человек [3].

Регулируемая автономия означает, что участник может изменять степень автоматизации задач, которые закреплены за его ролью. Эта концепция также предполагает распределение ролей в соответствии с компетенциями участников, но это распределение осуществляется во время выполнения задач, после того, как группа сформирована. Регулируемая автономия позволяет группе обеспечивать различную степень автоматизации в зависимости от накладываемых условий и передавать управление от одного участника к другому [8].

Обе выше рассмотренные концепции ограничивают степень автономии участников, определяя роли и соответственно задачи, за выполнение которых отвечает участник, и предполагая распределение работ в соответствии с компетенциями участников. Эти ограничения не позволяют организовать распределение работ в группах, нацеленных на сотрудничество, так как сотрудничество не предполагает четкого разделения ролей и функций. В таких группах считается, что участники в процессе работы могут делегировать друг другу задачи и обучаться друг у друга [9, 10]. Таким образом, участники могут приобретать новые компетенции в процессе коллективных действий и не обязаны при формировании группы обладать компетенциями, которые требуются для выполнения совместных действий в плане достижения цели. В то же время, согласно критерию симметричности все участники должны быть примерно одинаково компетентны в области выполняемой общей работы. Поэтому при формировании групп, нацеленных на сотрудничество, если невозможно найти участников, компетенции которых позволяли бы выполнить любой вид работы в плане достижения цели, способность к обучению и способность обучать являются обязательными компетенциями, которыми должен обладать участник, чтобы быть включенным в группу. Также участники должны иметь представле-

ние о моделях обучения. «Ученик» должен быть способен обучаться на модели, предлагаемой «учителем».

Помимо компетенций, которые обусловлены видами выполняемых работ и необходимостью обучения, коллективная деятельность требует, чтобы участники обладали способностями к коммуникации, координации и адаптации. Эти три вида компетенций должны присутствовать у каждого участника [11].

Коммуникацией называется процесс обмена информацией между участниками, который в человеко-машинных группах рассматривается с позиций «прозрачности» в том смысле, что информация, передаваемая машиной, должна быть понятна человеку и наоборот. То есть машины или интеллектуальные агенты должны быть способны эффективно обмениваться информацией таким образом, чтобы человек мог ее понять, для чего сами машины должны обладать способностью моделировать понимание информации человеком. Примерами подходов, которые частично решают проблему «прозрачности» являются использование качественного интерфейса (например, визуального, лингвистического), который способен обеспечивать понимание человеком намерений интеллектуального агента, его производительности, планов и процесса рассуждения [12]; применение технологии, в основе которой лежит объединение двух концепций — «говорить по очереди» (turn-taking) и распознавание речи [13]; концепция объяснимого искусственного интеллекта (explainable artificial intelligence) [14, 15] и другие. В полной мере проблема «прозрачности» не решена [16].

В человеко-машинных группах поддерживается двунаправленный обмен информацией. Такой обмен предполагает, что любой участник может отправлять запросы и отвечать на запросы, уточнять цели и исправлять некорректную информацию. Рассматриваемый вид обмена характеризуется каналом передачи информации, языком взаимодействия, наличием координации во времени и симметричностью [17]. Канал передачи информации (например, текст, голос, видео) — это интерфейс, который имеет дело с

модальностями, при помощи которых участники обмениваются информацией [18]. Языком взаимодействия может быть любой язык (вербальный, невербальный, письменный), включая формализованные языки; основным требованием к такому языку является то, что он должен быть понятен человеку и машине. Координация во времени является характеристикой, которая устанавливает, происходит ли передача информации в реальном времени, или задает время задержки, которое необходимо учитывать в ожидании информации (например, дальность расстояния, скорость передачи и т. п.). Симметричность означает, что любой участник может инициировать взаимодействие, отправлять запросы и отвечать на запросы, а также контролировать других участников.

Однозначность понимания информации и знаний, которыми обмениваются участниками, обеспечивается механизмами интероперабельности. В общем случае интероперабельность — это способность двух и более систем или компонентов обмениваться информацией и использовать эту информацию [19]. Применительно к человеко-машинным группам, интероперабельность — это способность участников структурировать, формализовывать и преподносить свои знания так, чтобы можно было ими обмениваться, и они бы однозначно интерпретировались. Примерами механизмов, обеспечивающих интероперабельность, являются стандартизированные механизмы описания и представления данных и предлагаемых сервисов, механизмы семантических аннотаций, механизмы обнаружения знаний, доступа к знаниям и извлечения знаний в машиночитаемой форме, онтологии. Для обеспечения коммуникации на этапе формирования человеко-машинной группы требуются знания о механизмах интероперабельности.

Координация связана с организацией знаний, навыков и поведения членов коллектива для достижения конкретной цели. В человеко-машинных группах она определяется как процесс, посредством которого участники (человек и машина) управляют «зависимостями между видами деятельности». Для обеспе-

чения эффективной координации участники должны 1) быть надежными и способными предсказывать поведение друг друга, 2) владеть общими знаниями о прошлом и настоящем, 3) быть способными делегировать друг другу задачи или оказывать помощь в их решении [2].

Адаптацией называется регулирование стратегий и моделей поведения участников группы в соответствии с изменяющимися условиями [20]. Участники должны быть способны обнаруживать изменения в группе и в окружающей среде, и применять механизмы адаптации (адаптация, контролируемая человеком) и адаптивности (адаптация, управляемая машиной).

На этапе формирования человеко-машинной группы от участников требуется, чтобы они обладали способностями к коммуникации, координации и адаптации и были способны договориться о механизмах, которые поддерживают эти процессы и будут использоваться в процессе коллективной деятельности.

Процесс координации предполагает, что участники взаимно управляемы, предсказуемы и им известны намерения друг друга. Отношение взаимозависимости является основным отношением для обеспечения координации между участниками в человеко-машинной группе. Оно показывает, что действия одного участника зависят от того, что сделали и могут сделать или будут делать остальные участники.

Видами отношения взаимозависимости являются предсказуемость, управляемость и наблюдаемость [3]. Отношения взаимозависимости поддерживаются механизмами коллективного поведения [21, 22], которые способствуют взаимопониманию участников не только посредством коммуникации, но и других сигналов (жестов, вектора положения участника и расстояния, тактильных сигналов, направления взгляда (для человека или для машины, оборудованной «системой зрения») и т. п.) [23]. Естественно, участники должны обладать способностью к пониманию этих сигналов [3].

Наблюдаемость означает, что другие могут наблюдать и интерпретировать релевант-

ные в контексте аспекты статуса участника (индивидуальные цели, состояния, возможности, намерения, изменения и предстоящие действия), его знания о коллективе, задаче и контексте. Примерами механизмов для поддержки наблюдаемости являются мониторинг, резервное копирование контекста и другие.

Управляемость означает способность участника направлять поведение других и принимать управление от других участников. Примерами механизмов управляемости являются обмен участниками распоряжениями (например, о распределении задач), предложениями, предупреждающей информацией.

Предсказуемость предполагает, что действия участника должны быть в достаточной степени прогнозируемы, чтобы другие могли полагаться на них при планировании своих собственных действий. Примерами механизмов для поддержки предсказуемости являются использование априорных соглашений, интерфейса, формальных моделей.

Механизмы, поддерживающие отношение взаимозависимости, используются на этапе взаимодействия участников, а на этапе формирования человеко-машинной группы требуются знания о механизмах коллективного поведения, которыми владеют участники, чтобы договориться о том, какие из них будут использоваться при работе группы.

Во многом эффективность координации зависит от единомыслия участников. *Единомыслие* — это общий образ мыслей, согласие взглядов, убеждений, ценностей [23]. В человеко-машинных группах единомыслие закреплено в понятии *групповая ментальная модель*. Стандартное определение ментальной модели — это основанные на предыдущем опыте идеи, стратегии, способы понимания, существующие в уме человека и направляющие его действия. Групповые ментальные модели возникают в коллективах, участники которых имеют схожие ментальные модели относительно цели, на достижение которой направлена их деятельность, и относительно роли друг друга в коллективе [24]. В человеко-машинных коллективах групповые модели нужны для обеспечения хорошей коорди-

нации действий участников благодаря тому, что участники способны предвидеть поведение друг друга, прогнозировать, какие задачи должны быть выполнены, и адаптировать свое поведение соответствующим образом. Применительно к такому коллективу групповая ментальная модель должна объединять в себе ментальные модели о цели и группе, которую создал человек, и которая есть у машины.

В области группового принятия решений в 1993 году предположили, что человек использует следующие виды ментальных моделей: модель задачи (что надо делать), модель оборудования (как это делать), модель группы (что из себя представляют участники), модель взаимодействия (чего участники ожидают друг от друга) [25]. В настоящее время среди групповых ментальных моделей для человеко-машинных групп различают два вида: модель задачи и модель группы [24]. Модель задачи (модель работы над задачей) — это то, как участник понимает задачу, план (процедуру) работы, стратегию достижения цели (решения задачи) и для исключительных случаев альтернативные планы работы над задачей. Модель группы — это то, как участник понимает предпочтения, навыки и привычки других участников. Модель задачи участника фиксирует рабочие цели и требования к производительности, в то время как модель группы участника акцентируется на требованиях к межличностному взаимодействию и навыках других участников. Групповые ментальные модели формируются в результате вербального и невербального обмена информацией/знаниями между участниками, включая обучение [24, 26].

Одним из аспектов эффективности совместной деятельности является социальность участника. *Социальность* представляет собой набор свойств участника, способствующих инкорпорации его в человеко-машинную группу как в социум. Социальность принципиальна для человека, он применяет социальные правила, нормы и ожидания как при межличностном взаимодействии, так и при взаимодействии с машиной [27]. Социальность влияет на субъективное восприятие

человеком другого участника, понимание текущей ситуации, степень доверия к участнику а также на другие отношения, вызываемые эмоциональными процессами, и в конечном итоге на выполнение задач в плане достижения цели [24, 28]. Применительно к человеко-машинным группам существует мнение, что для эффективной совместной деятельности машины должны адаптироваться к социальным ожиданиям человека [29, 30]. Примерами признаков социальности участника являются стиль общения [31], образ участника [32], готовность помочь [33], способность к разрешению конфликтов [33] и другие. На этапе формирования человеко-машинной группы нужны знания о признаках социальности, мерах этих признаков и интервалах допустимых значений признаков.

Отношение взаимозависимости между участниками является средством достижения взаимопонимания посредством передачи различных сигналов и построения контекста. В человеко-машинных группах контекст является базовым понятием для понимания участниками, как остальные представляют реальность (текущую ситуацию), как они воспринимают образ мыслей, взгляды и убеждения друг друга, и какие требования они предъявляют к себе и другим участникам [34, 35]. Несмотря на многочисленные определения контекста, в вычислительном отношении, что из себя представляет контекст, еще не решено [34]. Основываясь на вышеизложенном материале можно прийти к заключению, что контекст включает в себя представление участников о цели, на достижение которой ориентировано их поведение, о происходящих событиях и друг о друге. Построение контекста осуществляется в результате обмена информацией между участниками.

Естественно, для формирования коллектива, ориентированного на достижение цели, требуется информация об индивидуальных характеристиках, знаниях и возможностях (способностях) потенциальных участников. К этой информации относятся характеристики социальности, надежности, возможностях коллективной деятельности участника и мно-

жество компетенций, таких как способности к коммуникации, координации, адаптации, обучению (обучать и учиться), использованию механизмов коллективного поведения и интероперабельности, а также выполнению работ (решению задач), предусмотренных планом. Дополнительно к перечисленным видам компетенций, которые выявлены на основании анализа знаний, используемых в человеко-машинных группах, для формирования таких групп участникам нужны знания передовых практик формирования групп, юридических вопросов, анализа рисков, планирования, моделей принятия решений, операционных факторах, которые могут оказаться важными для участников (наличие и доступность ресурсов, культурные факторы) [36]. Информация о компетенциях потенциальных участников, их способностях к коллективной деятельности и надежности может быть получена из знаний о предыдущем опыте коллективной деятельности участника, а также знаний о прошлой и текущей деятельности участника в организации, где он работает или работал.

2. ПОСТРОЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ГРУПП

В соответствии с методологиями разработки онтологий возможности, которые онтология должна обеспечивать, определяются посредством вопросов компетенции [37–39], то есть вопросов, на которые должна «уметь отвечать» онтология. На основании списка сформулированных вопросов компетенции (разд. 2.1) разработана онтологическая модель формирования человеко-машинных групп (разд. 2.2).

2.1. Вопросы компетенции

Вопросы компетенции к онтологической модели формирования человеко-машинных групп представлены в табл. 1. Для уменьшения занимаемого таблицей места, в ней кое-где вместо полного названия человеко-машинная группа используется термин группа.

2.2. Онтологическая модель формирования человеко-машинных групп

В данном разделе рассматриваются части онтологической модели формирования человеко-машинных групп, которые отвечают на вопросы компетенции, сформулированные в табл. 1, и приводятся взаимоотношения между этими частями.

Онтологическая модель человеко-машинной группы (рис. 1) отвечает на вопросы ВК1, ВК2. Вычислительные ресурсы в модели представлены программными агентами, что позволяет сделать эти ресурсы активными объектами.

Человеко-машинная группа определяется как организованное объединение людей и программных агентов (на рисунке — агентов), которые являются единомышленниками, привержены общим намерениям и действуют в соответствии с целенаправленным коллективным поведением для достижения общей цели, а также имеют возможности, необходимые для такого поведения.

Отличительными особенностями (характеристиками) человеко-машинной группы являются присутствие двух видов участников: человека и программных агентов, единомыслие участников, их взаимозависимость, наличие внутренней организации и общей цели деятельности, одинаковое понимание участниками общей цели и намерений друг друга, а также согласованная деятельность участников для достижения общей цели.

Ниже даются определения концептов, используемых в онтологической модели человеко-машинной группы.

Человек — персона, которая является участником человеко-машинной группы на основании наличия у него возможностей, требующихся для вхождения в эту группу.

Агент — программная сущность, которая является участником человеко-машинной группы на основании наличия у нее возможностей, требующихся для вхождения в эту группу.

Единомышленник — участник человеко-машинной группы, который согласен с групповой ментальной моделью, разделяет

Таблица 1. Вопросы компетенции
Table 1. Competency questions

Фокус	№№	Описание
Группа	ВК1	Что такое человеко-машинная группа?
	ВК2	Чем характеризуется группа?
Участник	ВК3	Кто является участником группы?
	ВК4	Что является стимулом (мотивацией) для вступления участника в группу?
	ВК5	Какими свойствами должен обладать участник, чтобы быть включенным в группу?
Целенаправленное коллективное поведение	ВК6	Что такое целенаправленное коллективное поведение?
	ВК7	Чем характеризуется целенаправленное коллективное поведение?
	ВК8	Какие формы целенаправленного коллективного поведения возможны?
	ВК9	Каковы механизмы поддержки целенаправленного коллективного поведения?
	ВК10	Как осуществляется управление целенаправленным поведением участников?
Формирование группы	ВК11	Для чего формируется человеко-машинная группа?
	ВК12	Кем формируется группа?
	ВК13	Как потенциальный участник может попасть в группу?
Контекст	ВК14	Что такое контекст?
	ВК15	Какая информация используется для описания контекста?

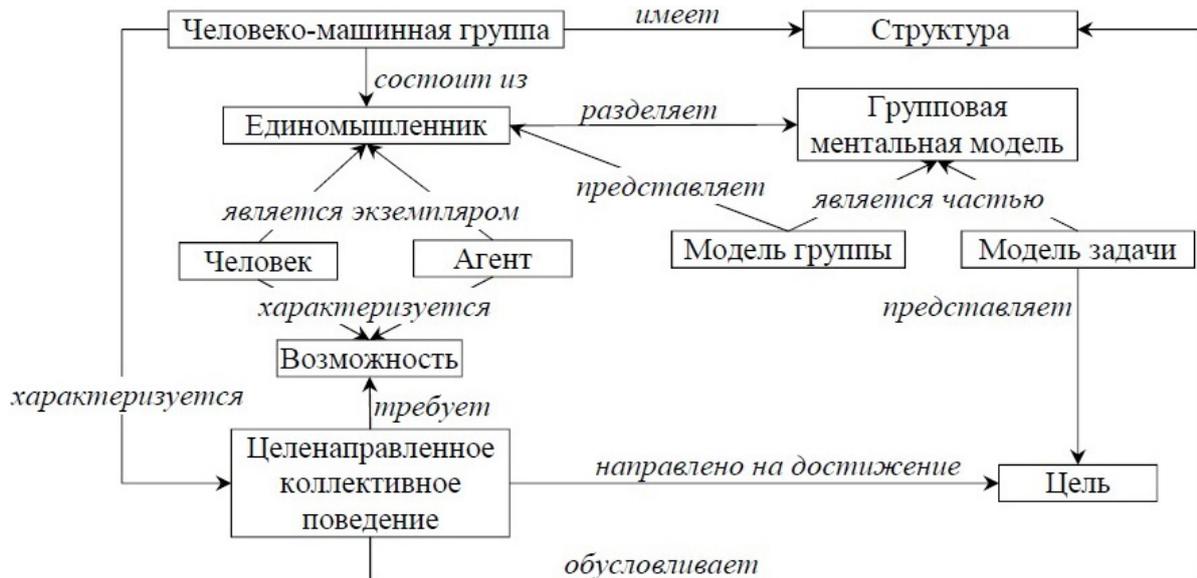


Рис. 1. Онтологическая модель человеко-машинной группы
[Fig. 1. Ontology model of human-machine team]

свои взгляды на выполняемую деятельность с другими участниками, а также уважает их убеждения и ценности.

Возможность — ментальные представления и физические способности индивида, необходимые для того, чтобы быть участником

человеко-машинной группы и принимать участие в деятельности, осуществляемой участниками при целенаправленном коллективном поведении.

Групповая ментальная модель — общее понимание участниками и ментальное представление знаний о цели, на достижение которой направлено коллективное поведение участников группы, путях достижения цели и о других участниках.

Модель задачи — общее понимание участниками и ментальное представление знаний о цели, на достижение которой направлено коллективное поведение участников группы.

Модель группы — понимание участниками и ментальное представление знаний друг о друге (возможностях, намерениях, компетенциях, предпочтениях, навыках, привычках друг друга).

Цель — однозначно понимаемые всеми участниками действия или задача, для выполнения или решения которых требуется вклад каждого участника¹.

Структура — организационная система, ориентированная на достижение общей цели, в которой определены и одинаково понимаются всеми участниками принцип разделения труда между участниками, роли участников и статусная иерархия участников.

Целенаправленное коллективное поведение рассматривается ниже как самостоятельная онтологическая модель.

Онтологическая модель участника (человеко-машинной группы) отвечает на вопросы ВК3–ВК5. Эта модель поддерживает следующую концептуализацию.

Участник (человеко-машинной группы) — это человек или программный агент, который удовлетворяет требованиям к наличию у него возможностей, необходимых для вхождения в группу, и участвует в деятельности группы в соответствии с ними. Мотивацией для вступления человека или программного агента в группу служат его намерения. Для того, чтобы человек или программный агент могли стать участниками человеко-машинной груп-

пы, их возможности должны удовлетворять требованиям к деятельности, которая должна быть выполнена участниками группы в процессе целенаправленного коллективного поведения.

Определения концептов, которые используются в онтологической модели участника и не определены ранее, приводятся ниже.

Намерение — это задуманный участником план действий (ментальное представление плана действий) для достижения общей цели или для выполнения определенного вида деятельности, который предполагается целенаправленным коллективным поведением, а также для оказания помощи другим участникам.

Компетенция — способность участника к осуществлению деятельности, предусмотренной целенаправленным коллективным поведением, на основе опыта, умения и знаний данного участника. Обязательными компетенциями, которые должны быть у человека и агента, чтобы они могли быть участниками группы, являются: способность к коллективной деятельности; способность к выполнению всех или отдельных видов работ, которые предусмотрены для выполнения в процессе достижения цели; способности к коммуникации, координации, адаптации и использованию механизмов коллективного поведения, способность к интероперабельности. Компетенции, потребность в которых обусловлена контекстом, включают способность к обучению (обучать и учиться), знания передовых практик формирования групп, юридических вопросов, анализа рисков, планирования, моделей принятия решений, операционных факторах и другие.

Свойство — индивидуальная черта участника (например, социальность, надежность).

Совместно концепты *намерение*, *компетенция* и *свойство* формируют концепт *возможность*, используемый в онтологической модели человеко-машинной группы.

Онтологическая модель целенаправленного коллективного поведения (рис. 2) отвечает на вопросы ВК6–ВК10.

Целенаправленное коллективное поведение — взаимозависимая адаптивная деятельность человека и программных агентов, кото-

¹ Необходимость вклада каждого участника указывает на то, что участники находятся в отношении взаимозависимости



Рис. 2. Онтологическая модель целенаправленного коллективного поведения
 [Fig. 2. Ontology model of collective goal-oriented behavior]

рая развивается внутри человеко-машинной группы в результате их взаимодействия и направлена на достижение общей цели по правилам, выработанным совместно участниками этой группы. Отличительными особенностями (характеристиками) целенаправленного коллективного поведения являются общая цель деятельности, групповые формы контроля, интенсивные групповые взаимодействия, согласованное друг с другом участие членов группы в общей деятельности, предсказуемость поведения участников. Целенаправленное коллективное поведение может существовать в двух формах: кооперация и сотрудничество. К механизмам поддержки целенаправленного коллективного поведения относятся механизмы поддержки наблюдаемости и предсказуемости участника, а также управляемости участником. Управление целенаправленным коллективным поведением осуществляется посредством взаимодействия участников.

Ниже приводятся определения концептов, используемых в онтологической модели целенаправленного коллективного поведения, кроме ранее определенных.

Кооперация — вид целенаправленного коллективного поведения², заключающийся в совместно-последовательной деятельности

² Вид целенаправленного коллективного поведения обуславливает структуру человеко-машинной группы

участников человеко-машинной группы в процессе достижения цели.

Сотрудничество — вид целенаправленного коллективного поведения, заключающийся в совместно-взаимодействующей деятельности участников человеко-машинной группы в процессе достижения цели.

Взаимодействие участников — воздействие участников (человека и программных агентов) друг на друга.

Коммуникация — вид взаимодействия, заключающийся в обмене информацией между участниками, иначе информационное взаимодействие.

Координация — вид взаимодействия, направленный на распределение деятельности участников во времени в процессе целенаправленного коллективного поведения.

Адаптация — вид взаимодействия участника со средой (контекстом), заключающийся в приспособление участника к условиям, которые наложены текущей ситуацией.

Механизм интероперабельности — механизм, который может быть использован участниками для обмена информацией с целью участия в общей деятельности.

Взаимозависимость участников — принятие всеми участниками группы общей цели и необходимость вклада каждого участника для ее достижения.

Наблюдаемость участника — возможность наблюдения участниками за статусам друг друга, получения представления о знаниях друг друга о группе, цели и контексте, наблюдения и интерпретации сигналов друг друга.

Предсказуемость участника – взаимное понимание участниками действий, которые намерены совершить другие участники.

Управляемость участника — способность участников направлять поведение друг друга и принимать управление друг от друга.

Механизм поддержки коллективного поведения — механизм, который может быть использован участниками для обеспечения понимания участниками возможностей друг друга с целью успешного взаимодействия.

Онтологическая модель формирования человеко-машинной группы (рис. 3) отвечает на вопросы ВК11–ВК13.

Человеко-машинная группа формируется для объединения человека и агентов с целью реализации целенаправленного коллективного поведения, направленного на выполнение человеком и агентами совместных действий, которые ведут к достижению поставленной цели. Группа формируется инициатором, который может только формировать группу и не участвовать в целенаправленном коллективном поведении, а может сам входить в состав группы, то есть быть ее участником. Для того, чтобы человек или агент могли стать участниками группы, они должны удовлетво-

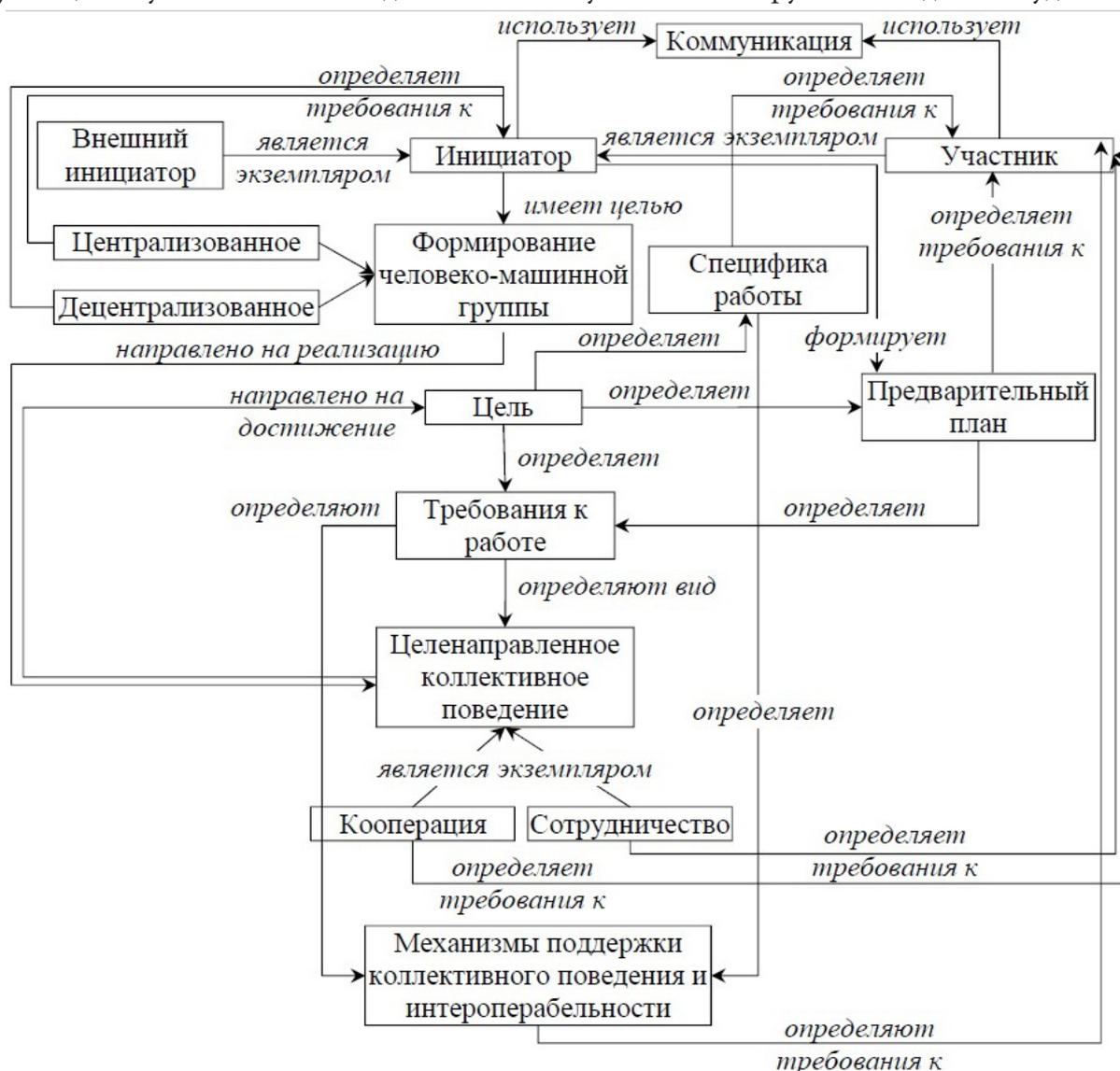


Рис. 3. Онтологическая модель формирования человеко-машинной группы
 [Fig. 3. Ontology model of human-machine team building]

рять требованиям, предъявляемым к участникам. Инициатор отбирает участников (при централизованном формировании группы) или отбор участников осуществляется через переговоры (при децентрализованном формировании группы).

Ниже приводятся определения концептов, используемых в онтологической модели формирования человеко-машинной группы, кроме ранее определенных.

Инициатор — человек или агент, заявивший о намерении сформировать человеко-машинную группу.

Внешний инициатор — вид инициатора, который намерен сформировать человеко-машинную группу, но не намерен участвовать в целенаправленном коллективном поведении группы, то есть не является участником.

Формирование человеко-машинной группы — процесс организации людей и агентов в объединение для совместной реализации целенаправленного коллективного поведения.

Централизованное — вид процесса формирования человеко-машинной группы, при котором управление процессом осуществляет инициатор или группа инициаторов.

Децентрализованное — вид процесса формирования человеко-машинной группы, при котором управление процессом осуществляется в ходе переговоров потенциальных участников.

Предварительный план — предварительно намеченные действия (виды работ), которые должны быть выполнены для достижения цели, и возможный порядок их выполнения.

Требования к работе — спецификация требований, устанавливающая особенности выполнения видов работ, представленных в предварительном плане (например, последовательно выполнение заданных видов работ, совместное выполнение определенного вида работ, проч.).

Специфика работы — описание особенностей выполняемой работы (например, обязательность присутствия в некотором физическом пространстве, особенности деятельности в различные временные отрезки, проч.).

Информирование — вид информационного взаимодействия двух участников (ком-

муникация), предполагающий, что один участник доводит до сведения другого участника соответствующую информацию.

Двунаправленный обмен — вид информационного взаимодействия двух участников, предполагающий, что оба участника могут отправлять запросы и отвечать на них.

Онтологическая модель контекста отвечает на вопросы ВК14 и ВК15.

Контекстом называется любая информация, характеризующая ситуацию, в которой находятся внешний инициатор или потенциальные участники, и являющаяся релевантной для организации взаимодействия между внешним инициатором и потенциальными участниками или между потенциальными участниками на предмет участия в человеко-машинной группе. На этапе формирования человеко-машинной группы контекст содержит информацию о 1) цели, которая должна быть достигнута в результате совместных действий участников группы; 2) требованиях к работе, которая должна быть выполнена группой, и 3) ее специфике; 4) предварительном плане, дающем представление о видах работ и порядке их выполнения; 5) требованиях к участникам, которые должны быть удовлетворены, чтобы потенциальный участник мог быть включенным в группу и стать участником, как это определено в онтологической модели участника; 6) потенциальных участниках в терминах онтологической модели участника.

Ранее не определенные концепты, которые представлены в модели контекста, — это требования к участнику и потенциальный участник.

Требования к участнику — множество требований, предъявляемых к участнику со стороны 1) предварительного плана достижения цели, 2) спецификации работы, которая должна быть выполнена для достижения цели, 3) формы (вида) коллективного поведения и 4) механизмов поддержки коллективного поведения и интероперабельности. Предварительный план и механизмы поддержки коллективного поведения и интероперабельности дают представления о требованиях к видам работ, в которых участники

должны быть компетентны, и механизмах, которые будут поддерживаться в группе для обмена информацией между участниками и понимания возможностей друг друга, и которыми участники должны владеть. Если видом целенаправленного коллективного поведения является кооперация, то участники должны обладать взаимодополняющими компетенциями, достаточными чтобы выполнить все виды работ, предусмотренные в предварительном плане. Если это требование не может быть выполнено, то некоторые из них должны быть способными к обучению и обучать. В случае сотрудничества, все участники обязаны быть компетентными в выполнении всех видов работ, предусмотренных в плане, или быть способными к обучению и обучать. Специфика работы выдвигает требования к свойствам участников.

Потенциальный участник — человек или агент, участвующий в информационном взаимодействии с целью вступления в человеко-машинную группу.

Онтологическая модель формирования контекстно-зависимых человеко-машинных групп (рис. 4) представляет знания, на основании которых осуществляет формирование таких групп в заданном контексте. Потенциальные участники и внешний инициатор (для централизованного подхода), находясь в контексте, строят индивидуальную ментальную модель этого контекста (ментальное

представление знаний потенциального участника о цели, путях ее достижения и о других участниках). Взаимодействуя друг с другом, потенциальные участники/инициатор создают групповую ментальную модель, которая является ментальным отражением контекста. В соответствии с этой моделью осуществляются дальнейшие взаимодействия, поддерживающие процедуру формирования человеко-машинной группы, то есть, выбираются участники и создается структура группы.

Описанные выше онтологические модели и взаимоотношения между ними образуют онтологическую контекстно-ориентированную модель формирования человеко-машинных групп (рис. 5). В формировании человеко-машинной группы задействованы инициатор, который может стать участником группы, и потенциальные участники (человек и программные агенты). На рис. 5 инициатор включен в категорию потенциальных участников, чтобы не перегружать рисунок. Инициатор и потенциальные участники взаимодействуют в контексте с целью определения состава группы. Возможность взаимодействия обеспечивается механизмами поддержки коллективного поведения и интероперабельности, которые являются частью онтологических моделей целенаправленного коллективного поведения (рис. 2), формирования человеко-машинной группы (рис. 3) и соответственно контекстно-зависимых чело-



Рис. 4. Онтологическая модель формирования контекстно-зависимых человеко-машинных групп

[Fig. 4. Ontology model of building context-aware human-machine teams]

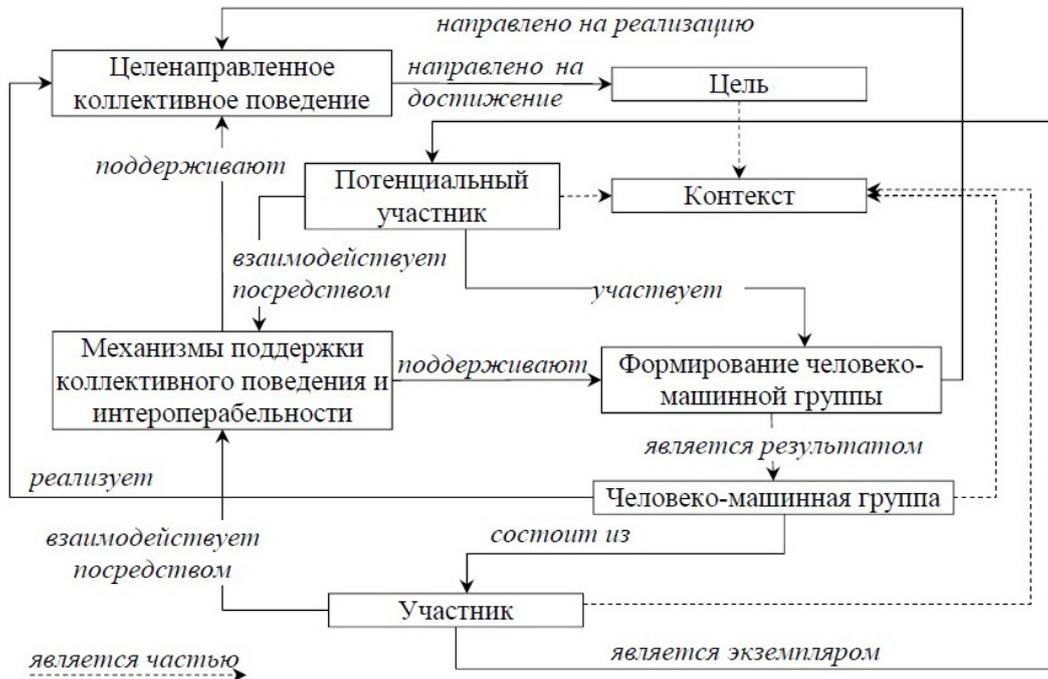


Рис. 5. Онтологическая контекстно-ориентированная модель формирования человеко-машинных групп
 [Fig. 5. Context-aware ontology model for building human-machine teams]

веко-машинных групп (рис. 5). Человеко-машинная группа формируется для реализации коллективного целенаправленного поведения (рис. 2), которое, в свою очередь, ориентировано на достижение цели, представленной в контексте. Результатом процедуры формирования человеко-машинной группы является созданная группа, в состав которой входят участники, выбранные из множества потенциальных. Данная группа становится частью контекста. Она отвечает за реализацию целенаправленного коллективного поведения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен аналитический обзор исследований, в которых рассматриваются виды знаний, требующихся при формировании человеко-машинных групп. Сформулированы вопросы компетенции к онтологической модели формирования таких групп. На основании вопросов компетенции и аналитического обзора разработана онтологическая контекстно-ориентированная модель формирования человеко-машинных групп. Данная модель предлагает концепты и механизмы, требующиеся при формировании человеко-машин-

ных групп, и позволяет организовать контекстно-ориентированное взаимодействие людей и программных агентов с целью их вступления в такую группу.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0005. При разработке онтологической модели целенаправленного коллективного поведения использовались результаты моделирования поведения пользователей, полученные в рамках научного проекта № 20 07-004900, финансируемого РФФИ.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бреев, В. В. Управление толпой: математические модели порогового коллективного поведения / В. В. Бреев, Д. А. Новиков, А. Д. Рогаткин. – М. : ЛЕНАНД, 2016. – 168 с.

2. Common Ground and Coordination in Joint Activity / G. Klein [et al.] // *Organizational Simulation* / W. B. Rouse, K. R. Boff. – Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005. – P. 139–184.
3. *Johnson, M.* How Interdependence Explains the World of Teamwork / M. Johnson, J. M. Bradshaw // *Engineering Artificially Intelligent Systems* / ed. by W.F. Lawless [et al.] / W. F. Lawless, J. Llinas, D. A. Sofge, R. Mittu. – *Lecture Notes in Computer Science*. – Vol. 13000. – Cham: Springer, 2021. – P. 122–146.
4. Merriam-Webster Online Dictionary [Electronic resource]. – An Encyclopædia Britannica Company. – Available at: <https://www.merriam-webster.com/> – (Access date: 10.11.2022).
5. *Moseley, C.* Collaboration vs cooperation: what's the difference? [Electronic resource] / C. Moseley. – Blog entry. – Jostle Website, 2020. Available at: <https://blog.jostle.me/blog/collaboration-vs-cooperation>. – (Access date: 10.11.2022).
6. *Dillenbourg, P.* What do you mean by collaborative learning? / P. Dillenbourg // *Collaborative Learning: Cognitive and Computational Approaches* / ed. by P. Dillenbourg. – Oxford: Elsevier, 1999. – P. 1–19.
7. *Engineering Human-Machine Teams for Trusted Collaboration* / B. Alhaji [et al.] // *Big Data Cogn. Comput.* – 2020. – Vol. 35, No 4. – P. 1–30.
8. *Mostafa, S. A.* Adjustable autonomy: a systematic literature review / S. A. Mostafa, M. S. Ahmad, A. Mustapha // *Artif. Intell. Rev.* – 2019. – Vol. 51, No 2. – P. 149–186.
9. *Demartini, G.* Human-in-the-loop Artificial Intelligence for Fighting Online Misinformation: Challenges and Opportunities / G. Demartini, S. Mizzaro, D. Spina // *Bull. Tech. Comm. Data Eng.* – 2020. – Vol. 43, No 3. – P. 65–74.
10. Challenges of human—machine collaboration in risky decision-making / W. Xiong [et al.] // *Front. Eng. Manag.* – 2022. – Vol. 9, No 1. – P. 89–103.
11. Improving Teamwork Competencies in Human-Machine Teams: Perspectives From Team Science [Electronic resource] / K. Stowers [et al.] // *Front. Psychol.* – 2021. – Vol. 12. – Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.590290/full>. – (Access date: 10.11.2022).
12. Situation awareness-based agent transparency for human-autonomy teaming effectiveness / Chen J. Y. C. [et al.] // *Proceedings SPIE 10194, Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications IX* / eds. by T. George, A. K. Dutta, M. S. Islam. – 2017. – P. 101941V.
13. Robots that Use Language / S. Tellex [et al.] // *Annu. Rev. Control. Robot. Auton. Syst.* – 2020. – Vol. 3, No 1. – P. 25–55.
14. *Gunning, D.* DARPA's Explainable Artificial Intelligence (XAI) Program / D. Gunning, D. Aha // *AI Mag.* – 2019. – Vol. 40, No 2. – P. 44–58.
15. *Sanneman, L.* A Situation Awareness-Based Framework for Design and Evaluation of Explainable AI / L. Sanneman, J.A. Shah // *Explainable, Transparent Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. EXTRAAMAS 2020* / eds. by D. Calvaresi [et al.] – Cham: Springer, 2020. – *Lecture Notes in Computer Science* – Vol. 12175. – P. 94–110.
16. Trust in Human-Robot Interaction / eds. by C. S. Nam, J. B. Lyons. – 1st edition. – Academic Press, 2020. – 588 p.
17. Why Human-Autonomy Teaming? / R. J. Shively [et al.] // *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering. AHFE 2017* / ed. by C. Baldwin. – Cham: Springer, 2018. – *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Vol. 586. – P. 3–11.
18. *Turkle, S.* Human-Computer Interface / S. Turkle // *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* / eds. by N. J. Smelser, P. B. Baltes. – Elsevier, 2001. – P. 7035–7038.
19. 610-1990 – IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. – IEEE, 1991.
20. *Driskell J. E.* Foundations of teamwork and collaboration / J. E. Driskell, E. Salas, T. Driskell // *Am. Psychol.* – 2018. – Vol. 73, No 4. – P. 334–348.
21. Coactive Design: Designing Support for Interdependence in Joint Activity / M. Johnson [et al.] // *J. Human-Robot Interact.* – 2014. – Vol. 3, No 1. – P. 43–69.
22. Interdependence Analysis in collaborative robot applications from a joint cognitive func-

tional perspective / A. Adriaensen [et al.] // Int. J. Ind. Ergon. – 2022. – Vol. 90. – P. 103320.

23. Human-Machine Teaming Systems Engineering Guide / P. McDermott [et al.]: Technical Paper. – № MP180941. Bedford, MITRE, Air Force Research Laboratory, 2018. – 68 p.

24. The role of shared mental models in human-AI teams: a theoretical review / R. W. Andrews [et al.] // Theor. Issues Ergon. Sci. – 2022. – P. 1–47.

25. Cannon-Bowers, J. A. Shared Mental Models in Expert Team Decision Making / J. A. Cannon-Bowers, E. Salas, S. Converse // Individual and Group Decision Making: Current Issues / ed. by N. J. Castellan. – 1st edition. – Psychology Press, 1993. – P. 221–246.

26. Mental models in design teams: a valid approach to performance in design collaboration? / P. Badke-Schaub [et al.] // CoDesign. – 2007. – Vol. 3, No 1. – P. 5–20.

27. Lee, J.-E.R. Trust in Computers: The Computers-Are-Social-Actors (CASA) Paradigm and Trustworthiness Perception in Human-Computer Communication / J.-E.R. Lee, C. I. Nass // Trust and Technology in a Ubiquitous Modern Environment: Theoretical and Methodological Perspectives / eds. by D. Latusek, A. Gerbasi. – IGI Global, 2010. – P. 1–15.

28. Bidirectional Communications in Human-Agent Teaming: The Effect of Communication Style / J. L. Wright [et al.]: Tech. Rep. – № ARL-TR-9458. – Aberdeen, DEVCOM Army Research Laboratory, 2022. – 93 p.

29. Influence of Culture, Transparency, Trust, and Degree of Automation on Automation Use / S.-Y. Chien [et al.] // IEEE Trans. Human-Machine Syst. – 2020. – Vol. 50, No 3. – P. 205–214.

30. Individual Differences in Trust in Autonomous Robots: Implications for Transparency / G. Matthews [et al.] // IEEE Trans. Human-Machine Syst. – 2020. – Vol. 50, No 3. – P. 234–244.

31. Human-Autonomy Teaming: Definitions, Debates, and Directions [Electronic resource] / J. B. Lyons [et al.] // Front. Psychol. – 2021. – Vol. 12. – Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.589585/full>. – (Access date: 10.11.2022).

32. Lyons, J. B. Transparency in a Human-Machine Context: Approaches for Fostering Shared Awareness/Intent / J. B. Lyons, P. R. Havig // Virtual, Augmented and Mixed Reality. Designing and Developing Virtual and Augmented Environments / eds. by R. Shumaker, S. Lackey – Cham: Springer, 2014. – Lecture Notes in Computer Science – Vol. 8525. – P. 181–190.

33. Measuring the Social Ability of Software Agents / F. Alonso [et al.] // 2008 Sixth International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications. – IEEE, 2008. – P. 3–10.

34. Artificial intelligence, Autonomy, and Human-Machine Teams — Interdependence, Context, and Explainable AI / W.F. Lawless [et al.] // AI Mag. – 2019. – Vol. 40, No 3. – P. 5–13.

35. Introduction to “Systems Engineering and Artificial Intelligence” and the Chapters / W.F. Lawless [et al.] // Systems Engineering and Artificial Intelligence. Cham: Springer International Publishing, 2021. – P. 1–22.

36. Rajsiri, V. Knowledge-based system for collaborative process specification: PhD Thesis. – Université de Toulouse, 2009. – 220 p.

37. Gomes-Perez, A. Evaluation and assessment of knowledge sharing technology / A. Gomes-Perez, N. Juristo, J. Pazos // Towards Very Large Knowledge Bases - Knowledge Building and Knowledge Sharing / ed. by N. J. Mars. – Amsterdam: IOS Press, 1995. – P. 289–296.

38. Гурьянова, М. А. Онтологическое моделирование экономики предприятий и отраслей современной России: Часть 2. Мировые исследования и разработки: аналитический обзор : препринт WP7/2011/08 (ч. 2) / М. А. Гурьянова, И. В. Ефименко, В. Ф. Хорошевский. – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2011. – 88 с.

39. Suárez-Figueroa, M. C. The NeOn Methodology framework: A scenario-based methodology for ontology development / M. C. Suárez-Figueroa, A. Gómez-Pérez, M. Fernández-López // Appl. Ontol. – 2015. – Vol. 10, No 2. – P. 107–145.

Левашова Татьяна Викторовна — канд. техн. наук, с.н.с. лаборатории интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук.

E-mail: tatiana.levashova@iias.spb.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1962-7044>

DOI: <https://doi.org/10.17308/sait/1995-5499/2022/4/99-118>

ISSN 1995-5499

Received 11.11.2022

Accepted 05.12.2022

ONTOLOGY MODEL FOR BUILDING HUMAN-MACHINE TEAMS

© 2022 T. V. Levashova 

*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
39, 14th line, 199178 St. Petersburg, Russian Federation*

Annotation. The paper is purposed to the development of an ontology model for building human-machine teams. Humans and machines must interact and exchange their goals and possibilities to they could become teammates. Enabling such interactions is one of the challenges in the human-machine teaming domain. Ontologies provide means for representation of knowledge required for building human-machine teams, and for support of heterogeneous entities interactions. Application of ontologies to enable human-machine interactions determines the relevance of the research purpose. Ontology development methodologies that follow the idea of creating an ontology based on competency questions underlie the ontology development approach described in this paper. The paper presents an overview of the studies that put forward requirements to the kinds of knowledge that the human and machines need to organize a team. Based on this overview and the formulated set of competency questions, an ontology model for building human-machine teams has been developed. This model represents the concepts and relationships relevant to the problem of building human-machine teams, suggests mechanisms that humans and machines are required to possess in order to participate in team building, and enables context-aware human-machine interactions. The novelty of the present research is in the integration of the kinds of knowledge found in the analyzed studies into the ontology model. The scope of the application of the research results covers the domains of ontology development and building heterogeneous groups of the micro-level behavior.

Keywords: human-machine team, ontology model, context.

CONFLICT OF INTEREST

The author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Breer V., Novikov D., Rogatkin A. (2016) Crowd management: mathematical models of threshold collective behavior. *Moscow, LENAND*. 168 p. (In Russian)

2. Klein G., Feltovich P. J., Bradshaw J. M. and Woods D. D. (2005) Common Ground and Coordination in Joint Activity. In: *Organizational Simulation*. Hoboken, NJ, USA, John Wiley & Sons, Inc. P. 139–184. doi:10.1002/0471739448.ch6.

3. Johnson M. and Bradshaw J. M. (2021) How Interdependence Explains the World of Teamwork. In: W. F. Lawless, J. Llinas, D. A. Sofge, & R. Mittu (eds.). *Engineering Artificially Intelligent Systems. Lecture Notes in Computer Science*. Cham, Springer. P. 122–146. doi:10.1007/978-3-030-89385-9_8.

4. Anon (n.d.) Merriam-Webster Online Dictionary. <https://www.merriam-webster.com/>

 Levashova Tatiana V.

e-mail: tatiana.levashova@iias.spb.ru

5. Moseley C. (2020) Collaboration vs cooperation: what's the difference? 2020. Blog entry. <https://blog.jostle.me/blog/collaboration-vs-cooperation>.
6. Dillenbourg P. (1999) What do you mean by collaborative learning? In: P. Dillenbourg (ed.). *Collaborative Learning: Cognitive and Computational Approaches*. Oxford, Elsevier. P. 1–19.
7. Alhaji B., Beecken J., Ehlers R., Gertheiss J., Merz F., Müller J. P., Prilla M., Rausch A., Reinhardt A., Reinhardt D., Rembe C., Rohweder N.-O., Schwindt C., Westphal S. and Zimmermann J. (2020) Engineering Human-Machine Teams for Trusted Collaboration. *Big Data and Cognitive Computing*. 35 (4). P. 30. doi:10.3390/bdcc4040035.
8. Mostafa S. A., Ahmad M. S. and Mustapha A. (2019) Adjustable autonomy: a systematic literature review. *Artificial Intelligence Review*. 51 (2). P. 149–186. doi:10.1007/s10462-017-9560-8.
9. Demartini G., Mizzaro S. and Spina D. (2020) Human-in-the-loop Artificial Intelligence for Fighting Online Misinformation: Challenges and Opportunities. *The Bulletin of the Technical Committee on Data Engineering*. 43 (3). P. 65–74. <http://sites.computer.org/debull/A20sept/p65.pdf>.
10. Xiong W., Fan H., Ma L. and Wang C. (2022) Challenges of human-machine collaboration in risky decision-making. *Frontiers of Engineering Management*. 9 (1). P. 89–103. doi:10.1007/s42524-021-0182-0.
11. Stowers K., Brady L. L., MacLellan C., Wohleber R. and Salas E. (2021) Improving Teamwork Competencies in Human-Machine Teams: Perspectives From Team Science. *Frontiers in Psychology*. 12. doi:10.3389/fpsyg.2021.590290.
12. Chen J. Y. C., Barnes M. J., Wright J. L., Stowers K. and Lakhmani S. G. (2017) Situation awareness-based agent transparency for human-autonomy teaming effectiveness. In: T. George, A. K. Dutta, & M. S. Islam (eds.). *Proceedings Volume 10194, Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications IX*. 18 May 2017 p. 101941V. doi:10.1117/12.2263194.
13. Tellex S., Gopalan N., Kress-Gazit H. and Matuszek C. (2020) Robots That Use Language. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*. 3 (1). P. 25–55. doi:10.1146/annurev-control-101119-071628.
14. Gunning D. and Aha D. (2019) DARPA's Explainable Artificial Intelligence (XAI) Program. *AI Magazine*. 40 (2). P. 44–58. doi:10.1609/aimag.v40i2.2850.
15. Sanneman L. and Shah J. A. (2020) A Situation Awareness-Based Framework for Design and Evaluation of Explainable AI. In: D. Calvarresi, A. Najjar, M. Winikoff, & K. Främling (eds.). *Explainable, Transparent Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. EXTRAAMAS 2020*. Lecture Notes in Computer Science. Cham, Springer. P. 94–110. doi:10.1007/978-3-030-51924-7_6.
16. Nam C. S. and Lyons J. B. (eds.) (2020) Trust in Human-Robot Interaction. *Academic Press*.
17. Shively R. J., Lachter J., Brandt S. L., Matesa M., Battiste V. and Johnson W. W. (2018) Why Human-Autonomy Teaming? In: C. Baldwin (ed.). *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering. AHFE 2017*. Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham, Springer. P. 3–11. doi:10.1007/978-3-319-60642-2_1.
18. Turkle S. (2001) Human-Computer Interface. In: N.J. Smelser & P.B. Baltes (eds.). *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Elsevier. P. 7035–7038. doi:10.1016/B0-08-043076-7/04333-3.
19. Anon (1991) 610-1990 – IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. doi:10.1109/IEEESTD.1991.106963.
20. Driskell J. E., Salas E. and Driskell T. (2018) Foundations of teamwork and collaboration. *American Psychologist*. 73 (4). P. 334–348. doi:10.1037/amp0000241.
21. Johnson M., Bradshaw J. M., Feltovich P. J., Jonker C. M., Van Riemsdijk M. B. and Sierhuis M. (2014) Coactive Design: Designing Support for Interdependence in Joint Activity. *Journal of Human-Robot Interaction*. 3 (1). P. 43–69. doi:10.5898/JHRI.3.1.Johnson.
22. Adriaensen A., Berx N., Pintelon L., Costantino F., Di Gravio G. and Patriarca R. (2022) Interdependence Analysis in collaborative robot applications from a joint cognitive functional perspective. *International Journal of*

Industrial Ergonomics. 90, 103320. doi:10.1016/j.ergon.2022.103320.

23. McDermott P., Dominguez C., Kasdaglis N., Ryan M., Trahan I. and Nelson A. (2018) Human-Machine Teaming Systems Engineering Guide. <https://www.mitre.org/sites/default/files/publications/pr-17-4208-human-machine-teaming-systems-engineering-guide.pdf>.

24. Andrews R. W., Lilly J. M., Srivastava D. and Feigh K. M. (2022) The role of shared mental models in human-AI teams: a theoretical review. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. P. 1–47. doi:10.1080/1463922X.2022.2061080.

25. Cannon-Bowers J. A., Salas E. and Converse S. (1993) Shared Mental Models in Expert Team Decision Making. In: N. J. Castellan (ed.). *Individual and Group Decision Making: Current Issues*. 1st edition. Psychology Press. P. 221–246.

26. Badke-Schaub P., Neumann A., Lauche K. and Mohammed S. (2007) Mental models in design teams: a valid approach to performance in design collaboration? *CoDesign*. 3 (1). P. 5–20. doi:10.1080/15710880601170768.

27. Lee J.-E.R. and Nass C. I. (2010) Trust in Computers: The Computers-Are-Social-Actors (CASA) Paradigm and Trustworthiness Perception in Human-Computer Communication. In: D. Latusek & A. Gerbasi (eds.). *Trust and Technology in a Ubiquitous Modern Environment: Theoretical and Methodological Perspectives*. IGI Global. P. 1–15. doi:10.4018/978-1-61520-901-9.ch001.

28. Wright J.L., Lakhmani S.G., Schwartz M. R. and Chen J. Y. (2022) Bidirectional Communications in Human-Agent Teaming: The Effect of Communication Style. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1169345.pdf>.

29. Chien S.-Y., Lewis M., Sycara K., Kumru A. and Liu J.-S. (2020) Influence of Culture, Transparency, Trust, and Degree of Automation on Automation Use. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 50 (3). P. 205–214. doi:10.1109/THMS.2019.2931755.

30. Matthews G., Lin J., Panganiban A. R. and Long M. D. (2020) Individual Differences in Trust in Autonomous Robots: Implications for Transparency. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 50 (3). P. 234–244. doi:10.1109/THMS.2019.2947592.

31. Lyons J. B., Sycara K., Lewis M. and Capiola A. (2021) Human-Autonomy Teaming: Definitions, Debates, and Directions. *Frontiers in Psychology*. 12. doi:10.3389/fpsyg.2021.589585.

32. Lyons J. B. and Havig P. R. (2014) Transparency in a Human-Machine Context: Approaches for Fostering Shared Awareness/Intent. In: R. Shumaker & S. Lackey (eds.). *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Designing and Developing Virtual and Augmented Environments*. Lecture Notes in Computer Science. Cham, Springer. P. 181–190. doi:10.1007/978-3-319-07458-0_18.

33. Alonso F., Fuertes J. L., Martínez L. and Soza H. (2008) Measuring the Social Ability of Software Agents. In: *2008 Sixth International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications*. 2008 IEEE. P. 3–10. doi:10.1109/SERA.2008.32.

34. Lawless W. F., Mittu R., Sofge D. and Hiatt L. (2019) Artificial intelligence, Autonomy, and Human-Machine Teams — Interdependence, Context, and Explainable AI. *AI Magazine*. 40 (3). P. 5–13. doi:10.1609/aimag.v40i3.2866.

35. Lawless W. F., Mittu R., Sofge D. A., Shortell T. and McDermott T. A. (2021) Introduction to “Systems Engineering and Artificial Intelligence” and the Chapters. In: *Systems Engineering and Artificial Intelligence*. Cham, Springer International Publishing. P. 1–22. doi:10.1007/978-3-030-77283-3_1.

36. Rajsiri V. (2009) Knowledge-based system for collaborative process specification. Université de Toulouse. <https://oatao.univ-toulouse.fr/7801/1/rajsiri.pdf>.

37. Gomes-Perez A., Juristo N. and Pazos J. (1995) Evaluation and assessment of knowledge sharing technology. In: N.J. Mars (ed.). *Towards Very Large Knowledge Bases — Knowledge Building and Knowledge Sharing*. Amsterdam, IOS Press. P. 289–296.

38. Gurianova M. A., Efimenko I. V., Khoroshevsky V. F. (2011) Ontological Modeling of Enterprises and Markets of Modern Russia: Part 2. R&Ds Worldwide: State-of-the-Art in Domain: Working paper WP7/2011/08 (part 2), Moscow : Publishing House of the Higher School of Economics, 2011. 88 p. (In Russian)

39. Suárez-Figueroa M. C., Gómez-Pérez A. and Fernández-López M. (2015) The NeOn Meth-

T. B. Левашова

odology framework: A scenario-based methodology for ontology development. *Applied Ontology*. 10 (2). P. 107–145. doi:10.3233/AO-150145.

Levashova Tatiana V. — PhD, senior researcher of the computer aided laboratory at St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.

E-mail: tatiana.levashova@iias.spb.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1962-7044>