Mangushev Alexander Vyacheslavovich – Volgograd State Technical University; e-mail: mangushev2001@yandex.ru; Volgograd, Russia; phone: +79880522090; undergraduate student.

Zybin Valery Andreevich – e-mail: vazybin@mail.ru; phone: +79610573464; undergraduate student.

Polukhin Igor Dmitrievich – e-mail: poluxin.2001@mail.ru; phone: +79020951311; undergraduate student.

УДК 004.5

DOI 10.18522/2311-3103-2023-3-25-35

Д.Е. Чикрин, К.Р. Смольникова

ОБЗОР КОЛЛАБОРАТИВНЫХ РОБОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЮРИДИКО-СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С НИМИ

Значительный интерес для отрасли робототехники является исследование многодисциплинарной области – взаимодействие человека и робота (Human-robot interaction, HRI). Индустрия 4.0 (4IR) диктует интенсивное внедрение робототехнических решений во все отрасли экономики и процессы жизнедеятельности людей. Именно поэтому взаимодействие оператора и кобота является одной из самых актуальных тем, влияющая на экономику, рынок труда и общество в целом. На текущий момент кобототехника является одним из новых прорывных направлений в робототехнике, а в связи с развитием стандартов 4IR коботы имеют ключевое преимущество в рамках автоматизации, где полное замещение человеческого труда невозможно. Такая коллаборация навыков оператора и коллаборативного робота ускорит производственно-технологический процесс и позволит компаниям, интегрирующих коботов, стать более конкурентоспособнее, а также свести к минимуму процесс производственных задач. Целью исследования является описание робототехнических систем и анализ юридико-системных аспектов взаимодействия кобота и оператора в совместном рабочем пространстве (collaborative workspace). Задачами исследования являются: 1) общий обзор коллаборативных робототехнических систем по типам: решаемых задач, выполняемых работ и управления; 2) рассмотрение существующих систем оценки рисков при взаимодействии оператора и кобота. Реализация поставленных задач внесет свой вклад в дальнейшие исследования инновационной области HRI, направленная на создание среды для безопасной и эффективной коллаборации оператора и кобота. Практическая ценность настоящей статьи заключается также в системном подходе к рассмотрению сферы кобототехники для дальнейшего изучения безопасных сценариев взаимодействия. По нашему мнению, наиболее эффективным подходом является анализ каждого конкретного случая использования какого-либо вида роботов. Одновременно отмечаем, что в текущих реалиях быстрорастущего сектора робототехники затруднительно классифицировать и унифицировать коллаборативные робототехнические системы в единый акт.

Коллаборативные роботы; взаимодействие человека и робота; коллаборативные робототехнические системы; Индустрия 4.0.

D.E. Chikrin, K.R. Smolnikova

REVIEW OF COLLABORATIVE ROBOTIC SYSTEMS AND LEGAL-SYSTEM ASPECTS OF INTERACTION WITH THEM

Of significant interest to the robotics industry is the study of the multidisciplinary field of human-robot interaction (HRI). Industry 4.0 (4IR) dictates the intensive implementation of robotic solutions in all sectors of the economy and human life processes. That is why the interaction between operator and cobot is one of the most relevant topics affecting the economy, labor market and society as a whole. Currently, cobotics is one of the new breakthrough areas in robotics, and due to the development of 4IR standards, cobots have a key advantage in automation, where full replacement of human labor is impossible. This collaboration of operator and collaborative robot

skills will accelerate the manufacturing process and allow companies integrating cobots to become more competitive and minimize the process of manufacturing tasks. The purpose of the study is to describe robotic systems and analyze the legal-system aspects of the interaction between cobot and operator in a collaborative workspace (collaborative workspace). The objectives of the study are: 1) general overview of collaborative robotic systems by types: tasks to be solved, work to be performed and control; 2) consideration of existing risk assessment systems for operator-cobot interaction. The realization of the set tasks will contribute to further research in the innovative field of HRI, aimed at creating an environment for safe and efficient operator-cobot collaboration. The practical value of this paper also lies in the systematic approach to consider the field of cobotics to further explore safe collaboration scenarios. In our opinion, the most effective approach is to analyze each specific use case of a type of robot. At the same time, we note that in the current realities of the rapidly growing robotics sector, it is difficult to classify and unify collaborative robotic systems into a single act.

Collaborative robots; human-robot interaction; collaborative robotic systems; Industry 4.0.

I. Введение. На текущий момент робототехника является одной из наиболее стремительно развивающихся областей человеческого знания и инженерно-технической мысли. Однако в рамках данной статьи рассматривается более узкая область робототехники, являющаяся менее проработанной в сравнении с другими областями робототехники – коллаборативные роботы (коботы).

Отличительные особенности коллаборативных роботов заключаются в том, что коботы представляют собой автоматическое устройство, независимое от своего создателя и выполняют задачи, поставленные непосредственно работником-специалистом (оператором), работающим совместно с ним. При эксплуатации коботы не ограждаются заборами (клетками, ограждениями) и не требуют систем безопасности. Совместная работа человека и робота является инновационной областью, направленная на создание среды для безопасного и эффективного сотрудничества между людьми и роботами для выполнения конкретной задачи [1].

Следует отметить серьезный и основательный подход зарубежных исследователей в части обзоров литературы и сценариев взаимодействия коллаборативных роботов [1–7]. В связи с отсутствием законодательного регулирования также необходимо отметить, что в российской и зарубежной литературе по-разному интерпретируется, но при этом сохраняется смысл рассматриваемого термина «коллаборативный робот».

Термин «коллаборативный робот» был введен Э. Колгейтом и М. Пешкиным еще в 1999 г., где авторы трактуют указанный термин как роботизированное устройство, которое манипулирует объектами в сотрудничестве с человеком-оператором [8].

В существующем ГОСТе Р 60.0.0.4-2019 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения» [9] термин «коллаборативный робот» не конкретизирован, но при этом предусматриваются взаимосвязанные термины такие как: робот для совместных работ (collaborative robot), совместная работа (collaborative operation) и совместное рабочее пространство (collaborative workspace).

Стремительное развитие научно-технического прогресса (НТП) в сфере роботостроения является неоспоримым фактом сегодняшнего времени, продемонстрировавший значительный темп создания и развития инфраструктуры. Следовательно, на данном этапе развития робототехники принципиальное значение играет унификация терминологии и именно по этой причине межгосударственные стандарты в области робототехники должны четко отражать соответствующие термины и определения.

Таким образом, чтобы приблизиться к сути понятия «коллаборативный робот (кобот)» нужно понимать его как компактный, гибкий промышленный робот, предназначенный для последовательных и точных работ во взаимодействии с работником-специалистом при отсутствии дополнительного программирования.

Дополнительно необходимо подчеркнуть, что последние 5-10 лет коллаборативные роботы являются одним из новых прорывных направлений в робототехнике и имеют колоссальный потенциал роста, благодаря их эффективной безопасной работе совместно с людьми. Так, например, в 2017 г. согласно отчету, опубликованному International Federation of Robotics (IFR), менее 4% от новых 381 тыс. промышленных роботов, установленных на предприятиях по всему миру, были коллаборативные роботы [10]. В соответствии с отчетом компании «Interact Analysis» сообщается, что в 2022 г. доход рынка коботов вырос на 17,2% до 954 млн долл., как и поставки выросли на 21,9% до 37 780 единиц. Также прогнозируется, что к 2026 г. индустрия коботов увеличится до 2,2 млрд долл. [11].

Таким образом с учетом постепенного перехода к Индустрии 5.0, ориентированной на синергию между людьми и роботами, а также на основании систематически публикуемых отчетов различных профильных компаний, можно прийти к следующему выводу. В долгосрочной перспективе коллаборативные роботы и в дальнейшем будут захватывать ландшафт робототехники в геометрической прогрессии в связи с их ключевыми преимуществами: цена, безопасность, гибкость, простота программирования. Вместе с тем нельзя не учитывать, что по мере интенсивного роста рынка коботов возрастает необходимость должного уровня безопасности при их эксплуатации в различных сценариях.

II. Коллаборативные робототехнические системы (КРС) и сценарии взаимодействия оператора и кобота. В настоящее время как Российской Федерации, так и в зарубежных странах отсутствует должное законодательное регулирование в области безопасного взаимодействия. Тем не менее одним из базовых документов, закрепляющий подходы к безопасному взаимодействию является ГОСТ Р 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016 «Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком» [12], дополняющий и уточняющий межгосударственные стандарты по безопасности промышленных роботов [13, 14].

На данном этапе коботы по типам коллаборативных робототехнических систем можно разделить на: 1) коботы, соответствующие требованиям межгосударственных стандартов и 2) коботы не соответствующие требованиям ГОСТа, однако это не означает, что коботы, не соответствующие стандарту являются небезопасными.

В рамках данного параграфа в табличной форме рассматриваются коботы, соответствующие требованиям стандарта, а также в каждом конкретном сценарии анализируются участие оператора, техника и скорость кобота при взаимодействии оператора и кобота.

Вышеуказанный межгосударственный стандарт [12] определяет четыре комбинации взаимосвязи и типа функционирования коботов:

1. Тип кобота с защитным механизмом контролируемой остановки предусматривает работу кобота по большей части самостоятельно. Оператор непосредственно во время технологического процесса в заранее определенной безопасной зоне выполняет необходимые операции (например, сварка, покраска и т.д.), которые кобот не может выполнить, при этом в этот момент кобот прекращает двигаться и переходит в режим паузы. С помощью автоматической системы кобот останавливается, если оператор подходит на близкое расстояние. Когда оператор выходит из рабочего пространства кобота, его деятельность автоматически возобновляется. В данном сценарии взаимодействия кобот и оператор не могут работать одновременно, т.е. работает либо оператор, либо кобот.

2. Тип робота с ручным управлением эксплуатируется во время «ручного обучения» робота оператором для точных операций с тяжелыми объектами. Такой тип робота оснащен датчиком, распознающим давление руки. Такой датчик «чувствует» силу, которую оператор применяет к манипулятору-роботу (например, в виде сверла, фрезы, схвата) во время обучения. В ситуации, когда оператор не находится в рабочем пространстве робота, т.е. когда робота не обучают, робот выполняет свои функции в режиме работы манипулятора. В данном сценарии во время обучения оператор находится в контакте с роботом, который находится под ручным управлением, при этом одновременные движения контролируются человеком.

3. Тип робота, оборудованный системой компьютерного зрения способен во время работы мониторить перемещение оператора. В ситуации, когда оператор находится в совместном рабочем пространстве – робот снижает скорость до безопасной, а в ситуации, когда оператор подходит предельно близко – робот прекращает работу и останавливается. В данном сценарии взаимодействия робот эксплуатируется для операций, требующих частого нахождения оператора в совместном рабочем пространстве, в котором робот и оператор могут перемещаться одновременно.

4. Тип робота с ограничением силы способен взаимодействовать с оператором в непосредственной близости в совместном рабочем пространстве, ввиду способности чувствовать сопротивление на своем пути, а также останавливаться в ситуации, когда робот соприкасается с оператором. В ситуации, когда расстояние становится критически близким, робот останавливается, т.е. фактически в этом случае используется сценарий контролируемая остановка с учетом требований безопасности. В данном сценарии имеет место прямой контакт между роботом и оператором. Существует два типа контакта. Переходный контакт представляет собой «короткое» контактное событие (<50 мс), когда часть тела оператора, как правило, может отскочить. Тип квази-статистического контакта в большинстве случаев может быть контактом долгим, где часть тела оператора может быть захвачена захватным устройством робота. С учетом совместной работы робота и оператора в непосредственной близости в общем рабочем пространстве в данном сценарии используются меры по снижению риска причинения вреда оператору: 1) конструкция робота, по общему правилу, имеет округлую форму и изготавливается из податливых материалов, 2) соответствующий выбор приложений и конструкция ячейки робота, например, захват, траектория движения и т.д.

Учитывая изложенные подходы к безопасности, по первому впечатлению складывается мнение, что с учетом сложной системы безопасности роботов, его эксплуатация является во всех отношениях безопасной. Однако в зависимости от характера работы не исключено, что имеет место причинение вреда оператору, работающего в непосредственной близости с роботом.

На основании вышесказанного в табл. 1. «Сценарии совместной работы робота и оператора» описаны вышерассмотренные сценарии безопасной совместной работы робота и оператора, демонстрирующие предварительную оценку рисков возможных обстоятельств причинения вреда оператору. Принимая во внимание стремительный рост роботостроения, по нашему убеждению, наиболее эффективным подходом является анализ каждого сценария совместной работы при использовании робота во взаимодействии с оператором, так как конечная конфигурация должна представлять баланс между безопасностью и производительностью.

Таблица 1

Сценарии совместной работы робота и оператора

Сценарии совместной работы	Участие оператора	Скорость робота	Техника	Меры безопасности
Контролируемая остановка с учетом требований безопасности	Оператор не имеет контроля	Скорость равна нулю, если оператор находится в зоне совместной работы	Остановка робота обеспечивается без потери мощности двигателей	Световые барьеры
Ручное управление	Аварийная остановка. Контроль оператора во время обучения	Контролируемая скорость с учетом требований безопасности	Ввод данных и управление движением осуществляет оператор. Робот не обучается – работает в режиме манипулятора	Силовой датчик
Контроль скорости и разделения зон	Никакого человеческого контроля в совместном рабочем пространстве. Работа робота зависит от предварительных настроенных в его управляющей программе зон	Контролируемая скорость с учетом требований безопасности	Одновременная работа. Минимальное расстояние для выполнения задач	Световые барьеры
Ограничение мощности и усилия	Зависит от применения. Оператор работает одновременно. Контролируется сила и мощность при контакте	Максимальная определенная скорость для ограничения силы	Робот не может превысить мощность чрезмерной силы. Свободное передвижение в совместном рабочем пространстве	Силовые датчики. Конструкция робота, выбор приложений и конструкция ячейки робота

При выборе методов обеспечения безопасности, можно использовать любое сочетание из перечисленных выше сценариев взаимодействия при работе в совместном рабочем пространстве, представленных в одной коллаборативной роботизированной системе, или всех четырех одновременно.

В целях эксплуатации роботов на должном уровне необходимо установить конкретные возможные повторяющиеся задачи с высокой долей предсказуемости. Исходя из вышеприведенных подходов можно выделить три основных критерия, опровергающие должное безопасное взаимодействие оператора и робота: 1) оценка намерений человека, 2) меры безопасности, 3) антропогенно-техногенные опасности [1]. Рассмотрим каждый критерий.

Оценка намерений человека является первостепенной задачей и определяющим фактором при проектировании робота. Важнейшим критерием в данном случае является наделение робота навыком с легкостью предвидеть намерения человека-оператора. Вместе с тем нельзя не учитывать критерий «предсказуемости» и со стороны человека-оператора. Двустороннее взаимодействие критерия «предсказуемости» представляет собой факт предвидения человеком-оператором движения

кобота, в свою очередь робот должен предвидеть действия человека-оператора на основании двух факторов: 1) предсказание последующего действия оператора и 2) предсказание времени действия.

Следующим критерием в рамках возможных мер по снижению риска является безопасность, предусматривающая отсутствие травм, т.е. причинение вреда оператору во время совместной работы. Во время совместной работы коботы могут полностью двигаться и работать с острыми и опасными предметами. Работа в общем рабочем пространстве предусматривает необходимость соблюдения специальных требований безопасности в целях обеспечения безопасности оператору при выполнении совместных задач. В данном случае, чтобы обеспечить безопасность оператору необходимо создать модель столкновения для кобота, которая способна обнаружить возможное столкновение с оператором [15].

Третий критерий – это антропогенно-техногенные опасности, т.е. нарушения, допущенные человеком при взаимодействии с коботом, которые во многом обусловлены недостаточным вниманием оператора. В целях достижения безопасности и стабильности во время совместной работы необходимо минимизировать нарушения со стороны человека-оператора.

Таким образом с точки зрения безопасности и контроля необходимо сформировать безопасную систему, разбирающуюся в человеческих предпочтениях и действующая безопасными способами. Но в любом случае остается риск проектирования коботов без учета аспектов, связанных с безопасностью. Как сказал Ник Бостром в интервью Мартину Форду: «Стремясь к результату, люди часто пренебрегают правилами безопасности. И побеждает тот, кто тратит на безопасность меньше всего усилий» [16].

Заключая данный параграф стоит отметить, что также необходимо разработать методы защиты с антропогенными опасностями, вызванные оператором для обеспечения безопасного взаимодействия, которые будут гармонизированы и закреплены на законодательном уровне. Далее в следующем параграфе будут рассмотрены этические и де-факто существующие законы, регулирующие сектор робототехники.

III. Робототехника в законе: существующие предложения в мире относительно безопасного взаимодействия человека и робота. Если соотносить вышеуказанные проблемы с текущим состоянием права в мире, то в зарубежных странах существуют следующие акты, акцентирующие особое внимание на безопасность при взаимодействии человека и робота:

- ◆ Нормы гражданского права робототехники и Хартия робототехники [17], обращающая внимание на этические принципы, которые необходимо учитывать при взаимодействии, в том числе запрет на эксплуатацию робота как средство причинения вреда, посягательство на человеческое достоинство и неприкосновенности частной жизни.

- ◆ Резолюция Европарламента «Нормы гражданского права о робототехнике» [18] представляет собой юридический и этический свод правил, ориентированные непосредственно на заинтересованные субъекты, применяющие так или иначе робототехнику в различных ситуациях, например, компании-производители, госорганы, ученые и др.

- ◆ Небезызвестные, а также вошедшие в историю и всеми применяемые Законы робототехники Айзека Азимова, закрепляющие обязательные правила поведения для роботов [19].

- ◆ Международные стандарты и технические спецификации, которые идентичны межгосударственным российским стандартам, закрепляющие интероперабельность роботов и их компонентов, а также снижение затрат на их разработку,

производство и обслуживание за счет стандартизации и унификации процессов, интерфейсов и параметров, в том числе с особым вниманием к обеспечению безопасности [9, 12–14].

Регулирование роботехники в Российской Федерации также является одним из актуальных и дискуссионных вопросов. На текущий момент существуют такие наиболее популярные российские научные труды:

- ◆ Инициативный проект федерального закона «Об обороте роботов, их составных частей (модулей)» [20].

- ◆ Концепция законодательства о робототехнике – Законы «Гришина», основывающиеся на законах роботехники Азимова и предлагают использовать роботов по аналогии с животными и юридическими лицами [21].

- ◆ Книги, разрабатываемые и написанные юридической фирмой «Dentos» и ее сотрудниками в рамках программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в части регулирования роботехники, где рассматриваются основные правовые проблемы, связанные с развитием робототехники и технологий искусственного интеллекта [22].

Несмотря на множество вышеперечисленных документов, уделяющие особое внимание на необходимость регулирования сектора роботехники на текущий момент ни один из документов в полной мере не разрешают текущие проблемы в части безопасного взаимодействия человека и робота.

На эту проблему обращают зарубежные футурологи и специалисты в области роботехники, иными словами предвестники новых законов роботехники, которые говорят о необходимости формирования новых законов и различных документов именно в части безопасного взаимодействия.

Так, например, проф. Бруклинского юридического факультета Ф. Паскуале в своей книге приходит к выводу о том, что в связи с появлением различных опасностей, связанных с восходом заводской роботехники и автоматизацией необходимо пойти дальше, и дополнить существующие законы роботехники Азимова еще четырьмя законами Паскуале [23].

Американский футуролог Э. Уэбб в своем бестселлере знакомит с китайскими компаниями, объединенные под названием «BAT» и американскими – «G-MAFIA», составляющие «Большую девятку», их междоусобной гонке, а также их стратегических целях, нацеленные не на прозрачность, а на оптимизацию. Воспроизводит три сценария будущего развития искусственного интеллекта: оптимистический, прагматический и катастрофический. По мнению Э. Уэбб, законы Азими являются общими и, в свою очередь, предлагает создать глобальную комиссию, которая придерживается принципов, не нарушая структуру прав, в которых соблюдается баланс индивидуальных свобод и высшего блага, блага всего человечества. В целях определения потенциальных последствий для экономических, геополитических и личных свобод необходимо реализовать техническое моделирование и составление карты рисков. Одновременно с этим Уэбб утверждает, что изменения должны происходить не только на государственном уровне, в «Большой Девятке» и кадрах, а также в каждом человеке [24].

Выводы. В рамках данной статьи описано и проанализировано взаимодействие оператора и робота в коллаборативных робототехнических системах, в том числе обозначены и рассмотрены существующие проблемы в части должного безопасного взаимодействия оператора и робота. В целях предотвращения причинения вреда коботом оператору, были рассмотрены различные точки зрения зарубежных специалистов, предлагающих варианты разрешения таких коллизий.

Обзор в табличной форме коллаборативных робототехнических систем по типам решаемых задач, выполняемых работ и управлению во всех сценариях коллаборации с учетом анализа участия оператора, техники и скорости кобота показы-

вает, что на данный момент не исключено причинение вреда оператору, работающего в непосредственной близости с коботом. В рамках обзора были выявлены три основных критерия отрицающие должную безопасность: оценка намерений человека, меры безопасности и антропогенно-техногенные опасности.

Для достижения безопасности между коботом и оператором, и в особенности в части обеспечения гарантий безопасности оператору, необходимо предварительно оценивать всевозможные риски причинения вреда как со стороны кобота, так и со стороны человека в ситуациях с антропогенными опасностями.

Несомненно, коботы имеют множество преимуществ таких как: увеличение производительности труда в результате коллаборации, снижение риска получения травм оператором вследствие делегирования опасных задач на кобота, возможность выполнения задач в труднодоступных местах за счет маневренности кобота, улучшение качества продукции в силу точности и повторяемости движений кобота.

Вместе с тем нельзя не учитывать недостатки кобота, выявленные в процессе анализа коллаборативных робототехнических систем: риск возникновения конфликтных ситуаций между коботом и оператором, необходимость дополнительного обучения персонала для работы с коботом, ограниченность функционала кобота по сравнению с работником-специалистом, ограничения в безопасности работы кобота вблизи оператора, что может ограничить его применение в некоторых отраслях.

Таким образом, представляется перспективным продолжить поиск оптимальных законов, соблюдающие баланс интересов всех заинтересованных субъектов, а также продолжить дальнейшее исследования инновационной области – взаимодействие человека и робота как ключевой фактор Индустрии 5.0, направленной на создание среды для безопасной и эффективной коллаборации оператора и кобота.

Благодарность. Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («ПРИОРИТЕТ-2030»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hameed A., Ordys A., Mozaryn J., Sibilska-Mroziewicz A.* Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review // *Appl. Sci.* – 2023. – 13. – 675. – <https://doi.org/10.3390/app13010675> (дата обращения: 19.05.2023).
2. *Mikkel S.K., Roy J.K.* Collaborative Robots: Frontiers of Current Literature // *ResearchGate*. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/342347381> (дата обращения: 19.05.2023).
3. *Hameed Ayesha, Andrzej Ordys, Jakub Mozaryn, Anna Sibilska-Mroziewicz.* Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review // *MDPI*. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/1/675> (дата обращения: 19.05.2023).
4. Picking with a robot colleague: A systematic literature review and evaluation of technology acceptance in human-robot collaborative warehouses // *ResearchGate*. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/370206151> (дата обращения: 19.05.2023).
5. The Expanding Role of Artificial Intelligence in Collaborative Robots for Industrial Applications: A Systematic Review of Recent Works // *ResearchGate*. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/367125121> (дата обращения: 19.05.2023).
6. Review of Collaborative Robot and Its Motion Planning Methods // *ResearchGate*. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/370779755> (дата обращения: 19.05.2023).
7. A Review on Collaborative Robot Assembly Line Balancing Problems // *ResearchGate*. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/364790312> (дата обращения: 19.05.2023).
8. URL: https://peshkin.mech.northwestern.edu/publications/1996_Colgate_CobotsRobotsCollaboration.pdf (дата обращения: 20.05.2022).
9. ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200162703> (дата доступа: 20.05.2023).
10. IFR. Demystifying Collaborative Industrial Robots. – URL: http://robotunion.ru/files/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf (дата обращения: 20.05.2023).

11. Interact Analysis. Collaborative Robots. – Apr 2022. – URL: <https://interactanalysis.com/research/collaborative-robots-apr-2022/> (дата обращения: 20.05.2023).
12. ГОСТ Р 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016. Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180499> (дата доступа: 20.05.2023).
13. ГОСТ Р 60.1.2.1-2016/ИСО 10218-1:2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для промышленных роботов. Ч. 1. Роботы. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141084> (дата доступа: 20.05.2023).
14. ГОСТ Р 60.1.2.2-2016/ИСО 10218-2:2011. Национальный стандарт Российской Федерации. «Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для промышленных роботов. Ч. 2. Робототехнические системы и их интеграция». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141449> (дата доступа: 20.05.2023).
15. *Haddadin S.; Croft E.* Physical human-robot interaction // In Springer Handbook of Robotics. – Springer: Cham, Switzerland, 2016. – P. 1835-1874.
16. *Форд Мартин.* Архитекторы интеллекта: вся правда об искусственном интеллекте от его создателей. – СПб.: Питер, 2020. – 416 с.
17. Civil Law Rules on Robotics (2015/2103(INL)). – URL: https://www.europarl.europa.eu/docoeo/document/TA-8-2017-0051_EN.html (дата доступа: 20.05.2023).
18. European Parliament. REPORT with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics (2015/2103 (INL)). Debates, 15 February 2017. – Available at: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=CRE&reference=20170215&secondRef=ITEM-014&language=EN&ring=A8-2017-0005> (дата обращения: 20.05.2023).
19. *Азимов А.* Хоровод. Черный столб. – М.: Знание, 1963. – 146 с.
20. *Бегушев И.П.* Об обороте роботов, их составных частей (модулей) (инициативный проект федерального закона). – Казань: Изд-во «Познание» Казанского инновационного университета, 2021.
21. Проект Гришина Дмитрия Сергеевича Grishin Robotics. – URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjkusH8uIv_AhUVrosKHcjCB1wQFnoECBAQAQ&url=http%3A%2F%2Frobopravo.ru%2Fuploads%2F%2Fz%2F6%2Fg%2F6gj0wkwhv1o%2Ffile%2FbESvQz3Y.pdf&usq=AOvVaw0vT6JYirXxQ0caC1HAZRup (дата доступа: 20.05.2023).
22. *Архипов В.В., Бакуменко В.В., Волюнец А.Д. и др.* Регулирование робототехники: введение в «Робоправо». Правовые аспекты развития робототехники и технологий искусственного интеллекта / под ред. А.В. Незнамова. – М.: Инфотропик Медиа, 2018. – 232 с.
23. New Laws of Robotics: Defending Human Expertise in the Age of AI” by Frank Pasquale Copyright © 2020 by the President and Fellows of Harvard College Published by arrangement with Harvard University Press.
24. *Webb A.* The Big Nine: how the tech titans and their thinking machines could warp humanity. – First ed.: March 2019 ed. – New York: PublicAffairs, 2019. Includes bibliographical references and index: March 2019. – 203 p.

REFERENCES

1. *Hameed A., Ordys A., Mozaryn J., Sibilska-Mroziewicz A.* Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review, *Appl. Sci.*, 2023, 13, 675. Available at: <https://doi.org/10.3390/app13010675> (accessed 19 May 2023).
2. *Mikkel S.K., Roy J.K.* Collaborative Robots: Frontiers of Current Literature, *ResearchGate*. Available at: URL: <https://www.researchgate.net/publication/342347381> (accessed 19 May 2023).
3. *Hameed Ayesha, Andrzej Ordys, Jakub Możaryn, Anna Sibilska-Mroziewicz.* Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review, *MDPI*. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/1/675> (accessed 19 May 2023).
4. Picking with a robot colleague: A systematic literature review and evaluation of technology acceptance in human–robot collaborative warehouses, *ResearchGate*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/370206151> (accessed 19 May 2023).
5. The Expanding Role of Artificial Intelligence in Collaborative Robots for Industrial Applications: A Systematic Review of Recent Works, *ResearchGate*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/367125121> (accessed 19 May 2023).

6. Review of Collaborative Robot and Its Motion Planning Methods, *ResearchGate*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/370779755> (accessed 19 May 2023).
7. A Review on Collaborative Robot Assembly Line Balancing Problems, *ResearchGate*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/364790312> (accessed 19 May 2023).
8. Available at: https://peshkin.mech.northwestern.edu/publications/1996_Colgate_CobotsRobotsCollaboration.pdf (accessed 20 May 2022).
9. GOST R 60.0.0.4-2019/ISO 8373:2012. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Roboty i robototekhnicheskie ustroystva. Terminy i opredeleniya [GOST R 60.0.0.4-2019/ISO 8373:2012. National standard of the Russian Federation. Robots and robotic devices. Terms and Definitions]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200162703> (accessed 20 May 2023).
10. IFR. Demystifying Collaborative Industrial Robots. Available at: http://robotunion.ru/files/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf (accessed 20 May 2023).
11. Interact Analysis. Collaborative Robots. Apr. 2022. Available at: <https://interactanalysis.com/research/collaborative-robots-apr-2022/> (accessed 20 May 2023).
12. GOST R 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016. Roboty i robototekhnicheskie ustroystva. Trebovaniya bezopasnosti dlya robotov, rabotayushchikh sovmestno s chelovekom [GOST R 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices. Safety requirements for robots working together with humans]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200180499> (accessed 20 May 2023).
13. GOST R 60.1.2.1-2016/ISO 10218-1:2011. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Roboty i robototekhnicheskie ustroystva. Trebovaniya po bezopasnosti dlya promyshlennykh robotov. Ch. 1. Roboty [GOST R 60.1.2.1-2016/ISO 10218-1:2011. National standard of the Russian Federation. Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 1. Robots]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200141084> (accessed 20 May 2023).
14. GOST R 60.1.2.2-2016/ISO 10218-2:2011. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. «Roboty i robototekhnicheskie ustroystva. Trebovaniya po bezopasnosti dlya promyshlennykh robotov. Ch. 2. Robototekhnicheskie sistemy i ikh integratsiya» [GOST R 60.1.2.2-2016/ISO 10218-2:2011. National standard of the Russian Federation. “Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2. Robotic systems and their integration]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200141449> (accessed 20 May 2023).
15. *Haddadin S.; Croft E.* Physical human-robot interaction, *In Springer Handbook of Robotics*. Springer: Cham, Switzerland, 2016, pp. 1835-1874.
16. *Ford Martin.* Arkhitektory intellekta: vsya pravda ob iskusstvennom intellekte ot ego sozdatelye [The Architects of Intelligence: The whole truth about artificial intelligence from its creators]. St. Petersburg: Piter, 2020, 416 p.
17. Civil Law Rules on Robotics (2015/2103(INL)). Available at: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2017-0051_EN.html (accessed 20 May 2023).
18. European Parliament. REPORT with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics (2015/2103 (INL)). Debates, 15 February 2017. Available at: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=CRE&reference=20170215&secondRef=ITEM-014&language=EN&ring=A8-2017-0005> (accessed 20 May 2023).
19. *Azimov A.* Khorovod. Chernyy stolb [Round dance. Black pillar]. Moscow: Znanie, 1963, 146 p.
20. *Begishev I.R.* Ob oborote robotov, ikh sostavnykh chastey (moduley) (initsiativnyy proekt federal'nogo zakona) [On the turnover of robots, their components (modules) (initiative draft federal law)]. Kazan': Izd-vo «Poznanie» Kazanskogo innovatsionnogo universiteta, 2021.
21. Proekt Grishina Dmitriya Sergeevicha Grishin Robotics [Project Grishin Dmitry Sergeevich Grishin Robotics]. Available at: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjkusH8uIv_AhUVrosKHcjCBlwQFnoECBAQAQ&url=http%3A%2F%2Frobopravo.ru%2Fuploads%2Fs%2Fz%2F6%2Fg%2Fz6gj0wkwhvIo%2Ffile%2FbESvQz3Y.pdf&usg=AOvVaw0vT6JYirXxQ0caCIHAZRup (accessed 20 May 2023).
22. *Arkhipov V.V., Bakumenko V.V., Volynets A.D. i dr.* Regulirovanie robototekhniki: vvedenie v «Robopravo». Pravovye aspekty razvitiya robototekhniki i tekhnologiy iskusstvennogo intellekta [Regulation of Robotics: An Introduction to RoboPravo. Legal aspects of the development of robotics and artificial intelligence technologies], ed. by A.V. Neznamova. Moscow: Infotropik Media, 2018, 232 p.

23. New Laws of Robotics: Defending Human Expertise in the Age of AI” by Frank Pasquale
Copyright © 2020 by the President and Fellows of Harvard College Published by arrangement
with Harvard University Press.
24. Webb A. The Big Nine: how the tech titans and their thinking machines could warp humanity.
First ed.: March 2019 ed. New York: Public Affairs, 2019. Includes bibliographical references
and index: March 2019, 203 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.В. Боженюк.

Чикрин Дмитрий Евгеньевич – Институт вычислительной математики и информационных технологий КФУ; e-mail: Dmitry.kfu@ya.ru; г. Казань, Россия; тел.: +78432065229, доб. 3306; д.т.н.; директор; профессор кафедры анализа данных и технологий программирования.

Смольникова Камилла Рустемовна – e-mail: krsmolnikova@mail.ru; тел.: +79655899966; аспирант.

Chikrin Dmitriy Evgenievich – Institute of Computational Mathematics and Information Technologies of KFU; e-mail: Dmitry.kfu@ya.ru; Kazan, Russia; phone: +78432065229, ext. 3306; dr. of eng. sc.; director; professor of data analysis and programming technologies department.

Smolnikova Kamilla Rustemovna – e-mail: krsmolnikova@mail.ru; phone: +79655899966; post-graduate student.

УДК 656.61: 510.644: 681.51

DOI 10.18522/2311-3103-2023-3-35-45

Л.А. Баракат, И.Ю. Квятковская

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ПРИ БЕЗЭКИПАЖНОМ СУДОВОЖДЕНИИ: НЕЧЕТКИЙ ПОДХОД

В ближайшем будущем безэкипажные суда будут иметь все большее значение, а также будут принимать решения без какого-либо вмешательства человека. Такая ситуация повышает риск столкновения безэкипажных судов с другими объектами. Анализируя аварийные случаи судов, можно отметить, что столкновения из-за нарушения Международных Правил Предупреждения Столкновений Судов в море, 1972 г. (МППСС-72), которые разработаны Международной морской организацией (ИМО), остаются лидером навигационных аварийных происшествий на водных путях. Поэтому автономное предотвращение столкновений на море будет играть основную роль в обеспечении безопасности при безэкипажном судовойждении (БЭС). В данной статье рассматривается проблема автономного предотвращения столкновений в нормальных условиях видимости в открытом море. В связи с этим в работе на основании системного анализа существующих правил МППСС-72 разработан шестиэтапный метод устранения угрозы столкновения безэкипажного судна, включающий: механизм принятия решений на основе логической схемы для реализации стратегии, наилучшей в смысле выбранного критерия оптимальности (оптимальная стратегия) при управлении БЭС, где входными данными для системы нечеткой логики предотвращения столкновений судов являются навигационные параметры (скорость, курс, положение и т. д.). База нечетких продукционных правил МППСС-72 состоит из 17 правил предотвращения столкновений для определения наиболее подходящих управляющих воздействия в случае возникновения риска столкновения. Авторами работы в качестве функции принадлежности нечеткого множества была предложена трапециевидная форма, которая позволяет аналитическое представление о риске столкновения безэкипажного судна с препятствием в зависимости от признака ситуации (сектора встречи). Разрабатываемые в настоящее время информационные системы предотвращения столкновений добавило барьер безопасности, чтобы помочь предотвратить столкновения в море. Однако по-прежнему требовались дальнейшие исследования и усилия ученых многих