

УДК 623.674

URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/menms/robots/1101.html>

РАЗРАБОТКА И ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ШЕСТИПАЛОГО СХВАТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ТОЧЕЧНОМУ ГУМАНИТАРНОМУ РАЗМИНИРОВАНИЮ

Г.Д. Федоров

fgh4506@inbox.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Рассмотрена актуальная задача гуманитарного точечного разминирования в условиях постконфликтных территорий с различными типами взрывоопасных предметов, включая мины и самодельные взрывные устройства. Выполнен анализ существующих решений в области робототехнических захватов, выявлены их конструктивные ограничения при обезвреживании нестабильных боеприпасов. Обоснована необходимость создания многопальцевого схвата, конструктивно приближенного к человеческой руке, и предложена шестипалая архитектура, обеспечивающая равномерное распределение давления и повышение безопасности при взаимодействии с опасными объектами. Выполнено сравнение с существующими аналогами, описаны особенности конструкции, включая использование циклоидальных редукторов. Результаты исследования могут быть использованы при разработке робототехнических комплексов для обнаружения и обезвреживания взрывоопасных предметов на постконфликтных территориях.

Ключевые слова: гуманитарное разминирование, робототехнический комплекс, многопальцевый схват, шестипалый захват, шарнирная конструкция, неразорвавшиеся боеприпасы, безопасность, инженерная робототехника, манипулятор, взрывоопасные объекты

Введение. В современном мире в условиях глобальных конфликтов и террористических угроз, роботизация в области разминирования становится все более актуальной.

Различают военное и гуманитарное разминирование. Военное разминирование: используется в ходе решения оперативно-тактических задач, для обеспечения безопасности прохода тактической группы или колонны для выполнения боевых задач. Гуманитарное разминирование: проводится в постконфликтных зонах с целью восстановления нормальной жизни в регионах, подразумевает под собой обнаружение боеприпасов и мин на местности и подрыв их на полигоне, в отдалении от гражданского населения.

Разминирование больших площадей проводится с помощью специальных машин с минными трапами. Этот процесс разминирования относительно автоматизирован — подрыв боеприпаса или снаряда происходит на месте без применения ручных сил.

Точечное разминирование является более тонкой работой, поскольку приоритетной задачей является обезвреживание снаряда или (при невозможности снятия боеприпаса с боевого взвода) аккуратное извлечение с последующей транспортировкой на полигон для подрыва. Разминирование такого типа обычно используется в гуманитарных целях, однако может применяться также и в военных целях для защиты важных объектов инфраструктуры [1]. По большей части точечное разминирование профессиональными саперами, но в последнее время все чаще стали прибегать к использованию робототехнических комплексов по разминированию.

Имеет смысл разработка человекоподобного схвата для точечного разминирования в гуманитарных целях. В таких условиях потенциал подобных конструкций может быть раскрыт в полной мере. В настоящее время происходит один из самых масштабных конфликтов за последние 30 лет, в ходе которого используется широкий ряд боеприпасов, в том числе боеприпасы кассетного типа, например, подвесной контейнер КМГУ, который может транспортировать в себе суббоеприпасы в виде 12 осколочных авиабомб АО-2.5 РТ, 12 противотанковых мин ПТМ-1 или 156 фугасных мин ПФМ-1 (широко известных, как мины «Лепесток») [2]. Широкое применение получили также традиционные виды минирования — установка противопехотных и противотанковых мин как производства СССР (противопехотные мины серий МОН, ОЗМ, противотанковые мины серии ТМ), так и зарубежного производства (противотанковые мины М-21, DM 1239, BLU-91/B, M52/B и противопехотные мины M18A1 Claymore). Помимо этого в ходе конфликта используются самодельные взрывные устройства на основе гранат, например Ф-1, РГН, ВОГ-25, М67, DM51 [3].

Как было подчеркнуто ранее, помимо разминирования больших площадей понадобится и точечное разминирование, особенно в условиях городской застройки, где подрыв боеприпаса будет представлять угрозу жизни гражданскому населению. Для этих целей прибегают к использованию либо специализированных комплексов, либо профессиональных саперов, когда нет возможности использовать комплекс.

В большей части комплексов для разминирования используется двухпальцевый захват, поскольку такого рода конструкция проста и надежна благодаря меньшему числу движущихся деталей. Такой захват может выполнять только простые манипуляции с объектами; если необходимо разминировать самодельные взрывные устройства, прибегают к удалению объекта с территории, при этом существует риск несанкционированного подрыва, поскольку неразорвавшийся боеприпас находится на боевом взводе и может сработать в любой момент из-за распределения давления на корпус в двух точках.

Аналогичным образом можно провести пример с ПФМ-1. Данную мину в принципе нельзя деактивировать — только уничтожить. Для этого саперы часто используют специализированные совки, чтобы не произошла инициация взрывателя мины, и только потом боеприпас эвакуируют на полигон для уничтожения [4]. Двухпальцевые захваты в данном случае не применяют из-за высокой вероятности срабатывания мины. При данном раскладе шестипальцевый схват благодаря более равномерному распределению давления может сыграть роль совка для поднятия мины и удержания ее без подрыва до эвакуации на полигон для уничтожения.

Подобного рода боеприпасы используются и НАТО, в том числе кассетный контейнер CBU97/B, снаряженный суббоеприпасами BLU-108 (рис. 1), применяемый приоритетно из РСЗО M270 (на базе которой создана колесная установка HIMARS). BLU-108 представляет собой штурмовой боеприпас, имеющий тормозной парашют (схож с тем, что используется на АО-25 или ФАБ-250Ш), который подрывается на определенной высоте над землей либо работает схожим образом с миной ПФМ-1, т. е. детонирует, когда к нему прикладывается давление.



Рис. 1. BLU-108

Подобного рода боеприпасы имеют также неприятную особенность застревать в ветвях деревьев. Таким образом, если боеприпас установлен в минующее положение, он находится в нестабильном состоянии и попытка снять его с ветки дерева, спиливая ветвь, может подорвать BLU-108 [7]. Единственный способ убрать мину — это аккуратно срезать парашют, удерживая мину за среднюю часть (при этом не прикладывается нагрузка к торцу мины, что предотвращает ее постановку на боевой взвод, а датчик давления, находящийся в основании, также не будет активирован, что позволит избежать взрыва) [5]. Таким образом, с учетом особенностей работы с миной в таком положении, имеет смысл применять шестипалый схват, так как при работе с миной по причине ее относительно небольших размеров, небольшой площади безопасного удержания и цилиндрической формы проще использо-

вать человекоподобный вариант схвата, поскольку двухпалый схват, во-первых, не всегда имеет возможность удержать такой объект ввиду большого диаметра мины, во-вторых, корпус мины имеет небольшую конусность и юбку-стабилизатор, которую желательно не задевать. При боковом хвате вероятность соскальзывания мины гораздо выше, поэтому имеет смысл схватывать мину по периметру.

Другим вариантом использования является обезвреживание противопехотных мин серии МОН. В данном случае возможны два варианта:

– мины в управляемом варианте, или мина с взрывателями замедленного действия ВЗД-6ч или ВЗД-144ч, могут быть разминированы (их взрыватель показан на рис. 2);



Рис. 2. Взрыватель ВЗД-6ч

– мины в неуправляемом варианте (мины с установленной растяжкой) с взрывателями МВЭ72 или ВЗД-3М разминированию не подлежат (мина с взрывателем МВЭ-72 показана на рис. 3). Боеприпасы такого рода уничтожают на месте с помощью траления (ручной заброс кошки и срывание тросов-натяжителей) [6].



Рис. 3. Мина МОН с взрывателем МВЭ-72

В большинстве случаев в постконфликтных зонах (особенно в зданиях) остаются неактивированные мины с растяжками, уничтожение которых происходит вручную без применения робототехнических комплексов, поскольку двухпальцевый хват не приспособлен к использованию кошек для срыва тросов. Многопальцевый захват, подобный человеческой руке, благодаря своей гибкости и подвижности может применяться для работ такого рода, не подвергая риску человека.

Таким образом, даже при наличии более простого аналога в виде двухпальцевого хвата многопальцевый хват, подобный человеческой руке, может найти применение в тех задачах, которые на нынешний момент выполняются людьми.

Рассмотрение аналогов и патентов. Среди аналогов, которые используются в работе по обеспечению безопасности, можно рассмотреть следующие робототехнические комплексы, на которых используют стандартный тип схвата для проведения таких работ.

1. Мобильный робототехнический комплекс «Варан» (рис. 4), в котором используется стандартная для такого типа роботов схему рычажного типа губчатого двухпальцевого схвата.



Рис. 4. Общий вид робототехнического комплекса «Варан»

Электропривод в данной конструкции (рис. 5) отвечает за то, чтобы сжимать и разжимать пальцы схвата. Конструкция проста как в исполнении, так и в работе [9]. Однако данный хват ограничен как по перемещению, так и по типу объектов, которые могут захвачены. Как было описано ранее, сжатие в двух точках, особенно без регулирования поджатия объекта, часто может привести к подрыву боеприпаса.

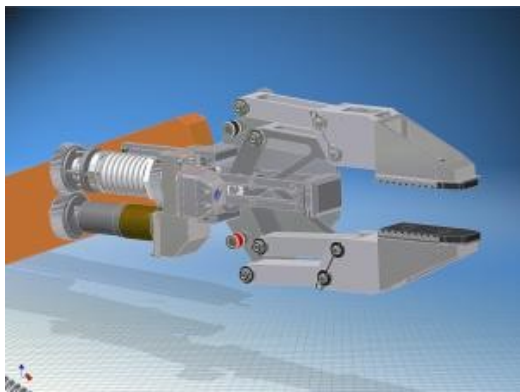


Рис. 5. Конструкция схвата мобильного комплекса «Варан»

2. Схват человекоподобного робота Robonaut 2 (рис. 6), испытания которого прошли на борту Международной космической станции, предназначен для использования в экстремальных условиях и схож по внешнему виду и принципу работы с человеческой рукой.

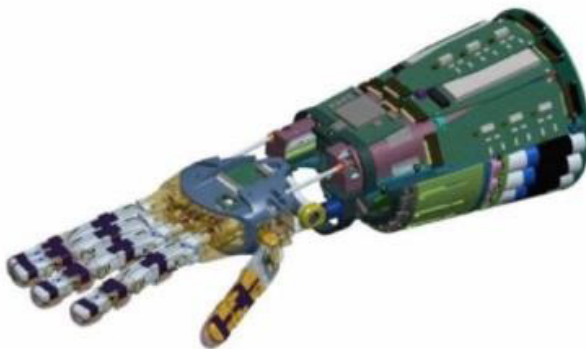


Рис. 6. 3D-модель схвата Robonaut 2

Схват имеет специально разработанную гибкую силовую конструкцию, детали которой не раскрываются [8]. Блок управления схватом расположен в запястье, что не перегружает сам схват. Пальцы данного схвата повторяют кинематику человеческого хвата в упрощенном виде, что обуславливает некоторую ограниченность степеней перемещения фаланг по углу рыскания.

Выбор конструкции экспериментального образца. Для обеспечения возможности манипулировать объектами в том же объеме и с той же точностью, что и человек, каждый сустав человеческой кисти можно представить в виде шарнира. Пример расположения шарниров как суставов показано на рис. 7.

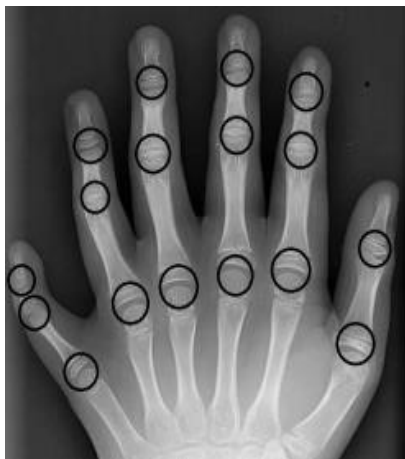


Рис. 7. Отметки суставов как возможное представление их в виде шарниров

Такой тип конструкции имеет обширную область работы, которая позволит иметь большую площадь контакта с объектом захвата, это позволяет уменьшить давление, прикладываемое к объекту, что в случае неразорвавшихся боеприпасов обеспечит большую безопасность работы, так как дополнительные механические повреждения могут привести к несанкционированному подрыву. Одним из таких примеров могут послужить механические повреждения гранат, в случае которых, даже при снятых предохранительной чеке и спусковом рычаге, ударник застревал (также возможно, что может быть повреждена ударная пружина) и не происходило срабатывание капсулы-воспламенителя. Любые неаккуратные действия могут привести к тому, что произойдет инициация. Многопальцевый антропоморфный схват позволяет не только удерживать объект, но и исключить воздействие на дефектный запал в процессе захвата ввиду гибкости конструкции, а также исключить контакт запала гранаты с посторонними объектами в случае работы схвата в труднодоступных областях. Также ввиду необходимости управления прикладываемыми к объекту силами имеет смысл ввести в конструкцию схвата тензометрические датчики, которые широко распространены в коллаборативной робототехнике.

Важным требованием, предъявляемым к таким схватам, является надежность функционирования как конструкции в целом, так и входящих в ее состав механических компонентов. В выпускной квалификационной работе бакалавра одного из авторов статьи был описан вариант шарнира, где двигатели и редуктор размещались внутри двух подвижных оболочек (рис. 8).

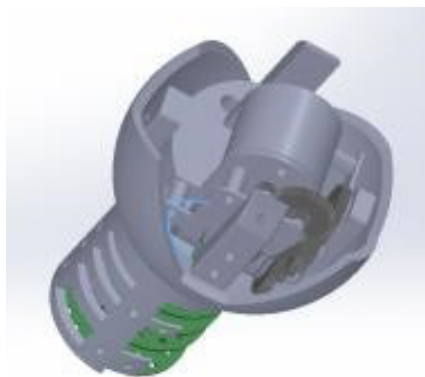


Рис. 8. Конструкция шарнира первой итерации варианта

Преимуществом такой конструкции является то, что сами подвижные оболочки обеспечивают защиту исполнительных механизмов шарнира. Однако увеличение требуемой нагрузки приводило к увеличению размеров шарнира, поскольку увеличивались мощность и габариты двигателя и изменялось передаточное отношение редуктора. В конечном счете при требуемой нагрузке 2,3 кг на палец диаметр шарнира составил 40 мм. Был сделан вывод, что для совершенствования конструкции необходимо установить исполнительный двигатель в самой фаланге пальца схвата. Редуктор в таком случае состоит из двух частей: пространственной, которая будет работать как обычный редуктор, и объемной части, которая и будет являться основной частью конструкции шарнира (рис. 9).

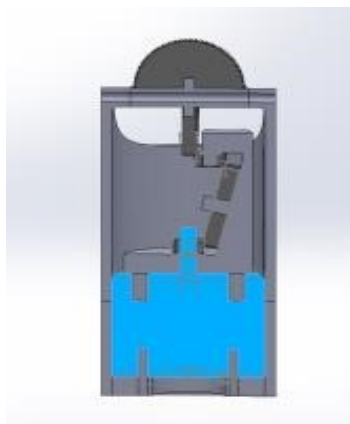


Рис. 9. Вариант конструкции фаланги пальца схвата

В данном случае верхняя часть передвигается относительно самой фаланги. Такое исполнение шарнира позволяет установить оптические датчики положения (например, светодиоды можно установить на корпус полустерни, а фотодатчик — на корпус фаланги). Блок управления фалангой при таком подходе располагается вне конструкции фаланги схвата.

Использование в предлагаемой конструкции шести пальцев вместо пяти обусловлено желанием сохранением функциональности схвата в случае отказов и повреждений. При выходе из строя четырех пальцев схват сохранит способность к захвату объектов, при этом подвижность и гибкость пальцев будут гораздо выше, чем у стандартных губчатых схватов, применяемых в настоящее время.

Учитывая решения, принятые при реализации схвата человекоподобного робота Robonaut 2, можно считать рациональным размещение управляющей электроники вне кисти схвата, в предплечье манипулятора, которое в этом случае входит в состав схвата. Опыт разработки в рамках выпускной квалификационной работы бакалавра одного из авторов варианта шестипалого антропоморфного схвата (рис. 10) показывает, что интеграция управляющей электроники непосредственно в конструкцию фаланг пальцев и ладонную часть схвата представляет собой чрезвычайно сложную конструкторскую задачу по причине дефицита объемов и приводит к увеличению массоинерционных характеристик и габаритов, как отдельных элементов схвата, так и кисти схвата в целом, что требует использования мощных (и, соответственно, более массивных и габаритных) приводов запястья.

Вышеуказанные соображения были учтены при разработке следующего варианта кисти экспериментального образца шестипалого схвата для проведения работ по точечному гуманитарному разминированию (рис. 11). Кинематическая схема схвата представлена на рис. 12.

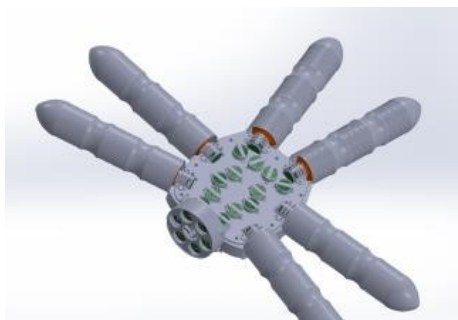


Рис. 10. Основные элементы схвата первой итерации со снятой одной из крышек

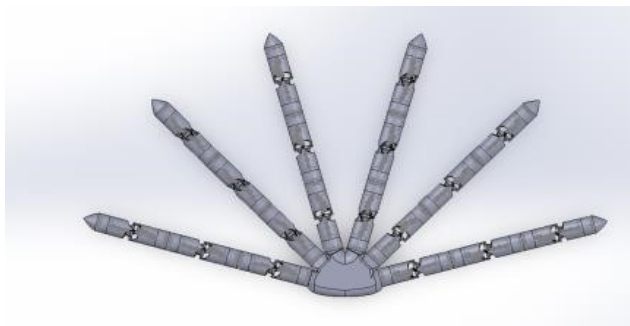


Рис. 11. Новый вариант кисти схвата

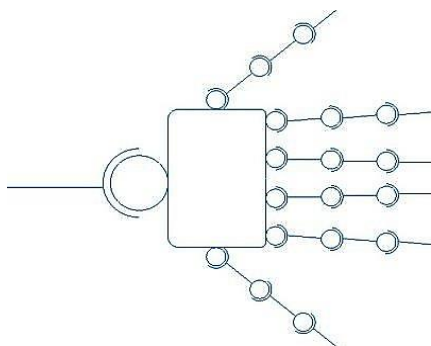


Рис. 12. Кинематическая схема схвата

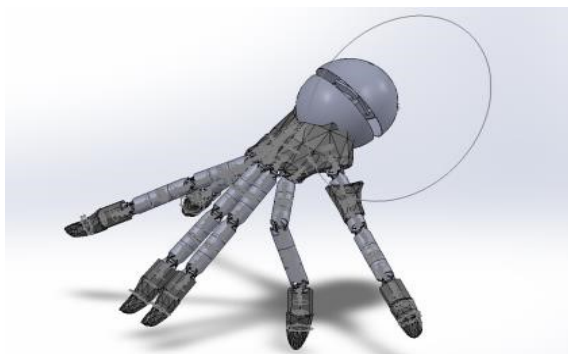


Рис. 13. Вариант схвата приближенный к кисти руки человека

В следующей итерации своей конструкции кисть схвата была приближена по кинематике и размещению пальцев к руке человека. В основание кисти установлен шарнир запястья (рис. 13).

Такой схват гораздо ближе по размерам к человеческой руке, и за основу была взята конструкция кисти человеческого скелета. «Ладонь» выполняет в данном случае функцию элемента конструкции, к которому крепятся пальцы кисти и шарнир запястья, предназначенный для изменения ориентации схвата.

Отличительной частью конструкции привода шарнира запястья является циклоидальный редуктор, показанный в разрезе на рис. 14. Редуктор имеет высокую точность перемещения и крайне малый люфт [10]. Он позволяет точно позиционировать кисть, что важно при работе с боеприпасами, в частности, с точки зрения обеспечения безопасности проводимых операций.

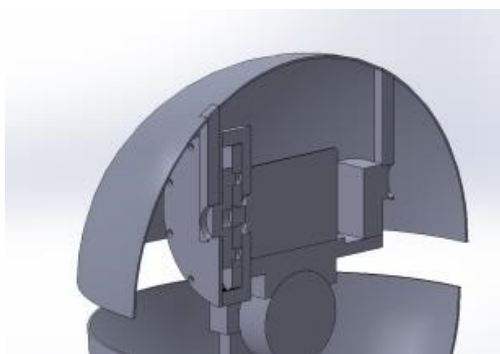


Рис. 14. Циклоидальный привод шарнира кисти

Заключение. Таким образом, было обосновано применение в робототехнических комплексах для гуманитарного разминирования многопальцевых схватов, конструктивно приближенных к руке человека. Это позволит расширить объем операций, выполняемых такими роботами, и соответственно уменьшить степень участия человека в этой опасной деятельности.

В результате трех итераций разработки предложена конструкция экспериментального образца шестипалого антропоморфного схвата для проведения работ по точечному гуманитарному разминированию. В дальнейшем планируется изготовить экспериментальный образец для отработки системы управления схватом и алгоритмов формирования захвата объектов.

Литература

- [1] Орифичи Д. *Руководство по вопросам противоминной деятельности*, Женева, б. и., 2004, 266 с.

- [2] Бедретдинов И.А. *Штурмовик Су-25 и его модификации*. Москва, НПК «Штурмовики Сухого», 2002.
- [3] *Оперативная сводка Министерства обороны Российской Федерации (на 15 сентября 2024 г.)*. URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12468765@egNews (дата обращения 30.10.2024).
- [4] Валецкий О.В. *Методы борьбы против мин и СВУ*. Пушкино, Центр стратегической конъюнктуры, 2018, 124 с.
- [5] Валецкий О.В. *Управляемое авиационное оружие США и НАТО*. Пушкино, Центр стратегической конъюнктуры, 2013, 154 с.
- [6] CAT-UXO. Identification Guide to Soviet/Russian Landmines. URL: https://www.gichd.org/fileadmin/uploads/gichd/Publications/CAT-UXO_Guide_Russia.pdf (accessed 15.10.2024).
- [7] Прибылов Б.В., Кравченко Е.Н. *Ручные и ружейные гранаты*. Москва, Арктика 4D, 2008, вып. 2, 776 с.
- [8] NASA. *Robonaut 2: технология автономного обслуживания на МКС*. URL: <https://www.nasa.gov/blogs/stationreport/2022/04/07/iss-daily-summary-report-4-072022/> (accessed 30.10.2024).
- [9] Вдовин А.С., Пащенко В.А., Савенко Д.Н., Гидроразрушители мобильных роботов — эффективное средство борьбы с взрывными устройствами в антитеррористических операциях. *Безопасность в техносфере*, 2023, №1 (47), с. 56–62.
- [10] В.С. Геометрические и конструктивные соотношения в волновых передачах с промежуточными телами качения. *Известия Томского политехнического университета*, 2008, т. 312, № 2, с. 24–27.

Поступила в редакцию 26.09.2025

Федоров Георгий Дмитриевич — студент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Зеленцов Виктор Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация. SPIN-код: 6896-0148. E-mail: victor.zelentsov@bmstu.ru

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Федоров Г.Д. Разработка и особенности экспериментального образца шестипалого схвата для проведения работ по точечному гуманитарному разминированию. *Политехнический молодежный журнал*, 2026, № 02 (103). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/menms/robots/1101.html>

JUSTIFICATION FOR THE DEVELOPMENT AND DESIGN FEATURES OF A SIX-FINGERED ARTICULATED GRIPPER FOR HUMANITARIAN SPOT DEMINING OPERATIONS

G.D. Fedorov

fgh4506@inbox.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

The paper addresses the urgent problem of humanitarian spot demining in post-conflict areas contaminated with various types of explosive hazards, including landmines and improvised explosive devices. An analysis of existing robotic gripper solutions are carried out, revealing their structural limitations when handling unstable munitions. The need for the development of a multi-fingered articulated gripper, structurally resembling the human hand, is substantiated. A six-fingered architecture is proposed to ensure uniform pressure distribution and enhanced safety during interaction with hazardous objects. The proposed design is compared with existing counterparts, and its key features are described, including the use of cycloidal gear drives. The results of the study can be applied in the development of robotic systems for the detection and disposal of explosive hazards in post-conflict environments.

Keywords: humanitarian demining, robotic system, multi-fingered gripper, six-fingered gripper, articulated mechanism, unexploded ordnance (UXO), safety, robotics engineering, robotic manipulator, explosive hazards

Received 26.09.2025

Fedorov G.D. — Student of Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Zelentsov V.V., Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Department of Robotic Systems and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation. SPIN-code: 6896-0148. E-mail: victor.zelentsov@bmstu.ru

Please cite this article in English as:

Fedorov G.D. Justification for the development and design features of a six-fingered articulated gripper for humanitarian spot demining operations. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2026, no. 02 (103). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/menms/robots/1101.html>