

О возможностях и значении беспилотных летательных аппаратов для догоспитального этапа медицинской помощи

Л.В. Писаренко , С.А. Гуменюк, В.И. Потапов

Научный отдел организации экстренной медицинской помощи

ГБУЗ Москвы особого типа «Московский территориальный научно-практический центр медицины катастроф (ЦЭМП) ДЗМ»
129010, Российская Федерация, Москва, Большая Сухареvская пл., д. 5/1, стр. 1

✉ **Контактная информация:** Писаренко Леонид Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник, научного отдела организации экстренной медицинской помощи ГБУЗ особого типа МТНПЦМК (ЦЭМП) ДЗМ.
Email: p8060@bk.ru

РЕЗЮМЕ

Беспилотные летательные аппараты являются важной техникой и неотложным средством при поисково-спасательных работах. Они способствуют сокращению времени, необходимого для поиска и оказания помощи раненым, больным и пострадавшим, находящимся на большом территориальном удалении и в трудно доступных местах. С помощью компьютерного «зрения» и таких датчиков, как шумовое зондирование, бинарное зондирование, вибрация и тепловое зондирование, дроны способны обеспечить поиск живых пациентов не только в море, высоко в горах и в шахтах, но и погребенных под завалами зданий и сооружений. Такие аппараты демонстрируют преимущества при экстренной и неотложной доставке медицинской реанимационной и другой медицинской техники, лекарственных средств, препаратов крови и органов для трансплантации пациентам, особенно находящимся в удаленных местах. С помощью беспилотников возможно эффективно проводить сортировку пациентов при массовых санитарных потерях, осуществлять дезинфекцию и дистанционно вести мониторинг состояния здоровья пациентов при высококонтагиозных инфекционных заболеваниях и других патологических состояниях, а также сократить время для предоставления других медицинских и гуманитарных услуг населению. Очевидно, что применение беспилотников требует дальнейшего изучения их перспективных возможностей, особенно в реальных условиях деятельности служб скорой медицинской помощи.

Ключевые слова:

беспилотные летательные аппараты, беспилотники, дроны, догоспитальный этап, поисково-спасательные операции, экстренная и неотложная медицинская помощь

Ссылка для цитирования

Писаренко Л.В., Гуменюк С.А., Потапов В.И. О возможностях и значении беспилотных летательных аппаратов для догоспитального этапа медицинской помощи. *Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь*. 2024;13(3):501–513. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2024-13-3-501-513>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Благодарность, финансирование

Исследование не имеет спонсорской поддержки

АВД — автоматический внешний дефибриллятор
БАС — беспилотные авиационные системы
БПЛА — беспилотные летательные аппараты
БПС — беспилотные системы
ИВЛ — искусственная вентиляция легких

СЛР — сердечно-легочная реанимация
СМП — скорая медицинская помощь
ЧС — чрезвычайная ситуация
ЭНМП — экстренная и неотложная медицинская помощь

ВВЕДЕНИЕ

Российская Федерация является крупнейшим государством мира по своим территориальным размерам. Более 70% ее территории расположено в азиатской части страны, однако почти 80% населения проживает в европейской части, где средняя плотность увеличена в 10 раз. Согласно Росстату (2021), в России зарегистрировано 622 городских и 119 муниципальных округов, а также 1599 муниципальных районов, в том числе 1117 городов, 1181 посевков городского типа и более 16,2 тысяч сельских поселений, состоящих из нескольких населенных пунктов. Около 70% населения про-

живает в городских условиях и лишь 30% в сельских и поселковых населенных пунктах. Такая неравномерность сказывается и на качестве, и на эффективности медицинского обеспечения проживающего в этих условиях населения.

В 2015 году ООН наметила 17 целей устойчивого развития стран мира, среди которых провозглашены права людей на доступ к качественной системе здравоохранения, включая службы экстренной и неотложной медицинской помощи (ЭНМП).

Согласно приказу Минздрава РФ от 20 июня 2013 г. № 388н, время прибытия бригад скорой медицинской помощи (СМП) до пациента для оказания медицинской помощи в экстренной форме не должно превышать 20 минут с момента ее вызова, а срок ожидания первичной медико-санитарной помощи по неотложным показаниям не должен превышать 2 часов с момента обращения пациента в службу неотложной медицинской помощи [1]. При этом в аналогичных территориальных программах эти сроки могут быть обоснованно скорректированы с учетом транспортной доступности, плотности населения, а также климатических и географических особенностей регионов. Любая задержка в оказании ЭНМП является основной причиной осложнений и смертельных исходов, особенно при чрезвычайных ситуациях (ЧС), когда смерть регистрируется в 70% случаев еще до прибытия бригад СМП, а в 2–11% — в процессе эвакуационной транспортировки пациентов в стационар [2].

Результаты комплексного наблюдения, проведенного в 2018 году Росстатом, свидетельствуют, что треть жителей России ожидали бригаду ЭНМП от 21 до 40 минут, 10% — более 40 минут, а 3% населения — свыше часа с момента вызова [3]. К пациентам в сельской местности в среднем машина ЭНМП прибывала за 30 минут, а в городе — в течение 25 минут. Если положительный эффект от оказания ЭНМП в течение первых 30 минут наступал у 65,2% пациентов, то в более поздние сроки — у 31,3%, а у 3,5% случаев пациенты вообще не отмечали у себя эффекта от лечебных мероприятий, проводимых бригадой ЭНМП [4]. Причинами такой ситуации послужили: сокращение количества станций СМП по стране; увеличение транспортного плеча медицинского обслуживания; качество дорожного покрытия и уровень автомобильно-дорожных заторов; наличие и состояние работоспособной медико-эвакуационной автотехники и ее закупочная стоимость; выгорание и дефицит медицинских кадров и т.п. Эти и многие другие факторы существенным образом влияют как на своевременность оказания помощи, так и на смертность населения.

Не только Россия, но и многие страны мира также испытывают трудности с обеспечением достаточного охвата жителей ЭНМП наземными машинами СМП и своевременным спасением их жизней [5, 6]. Мировое сообщество также сталкивается со многими проблемами в области здравоохранения, включая старение населения, инвалидизацию людей, стихийные бедствия, новые болезни, урбанизацию, глобальное потепление и др.

Тем не менее общество быстро развивается благодаря множеству передовых, особенно информационно-коммуникационных технологий [6]. Ускоренное развитие этих технологий и расширение спектра технических инноваций, в том числе автоматизация и роботизация различных типов техники и оборудования, часто и в корне повышают производственную эффективность и этим облегчают жизнедеятельность человека [7]. Интересно, что многие технические инновации на самом деле не являются ноу-хау, так как характеризуются своей достаточно длинной «жизненной» историей — от идеи и ее разработки до практической реализации. Следовательно, национальным директивным органам необходимо своевременно и должным образом это учитывать при планировании своей экономической политики или же непосред-

венно быстро внедрять новые направления в частную и общегосударственную бизнес-деятельность [8].

Одним из таких направлений стало зарождение авиации, развитие которой привело к идее создания беспилотных устройств [7]. В последнее время в различных средствах массовой информации, в научных докладах и публикациях, в части касающейся беспилотных систем, можно встретить и такие обобщающие их понятия как «беспилотники», куда в том числе входят «беспилотные системы» (БПС), «беспилотные авиационные системы» (БАС), «беспилотные летательные аппараты» (БПЛА) и «дроны». В чем же их практическое отличие?

БАС — это комплекс, включающий одно или несколько беспилотных воздушных судов, а также наземные технические средства и оборудование навигации и связи, используемые для управления полетом воздушных судов.

БПЛА — это беспилотный летательный аппарат, который управляется дистанционно с помощью оператора или автономно за счет радиоуправляемого аппаратно-программного комплекса.

Дрон (*drone* — с англ. чаще «трутень», а также «тунядец, паразит, жужжащий, гудящий») — это самостоятельный или дистанционно управляемый беспилотный аппарат, который может передвигаться не только в воздушной или газовой среде, но и по земной поверхности и ее объектам, а также по воде и под водой. Использование последних двух терминов, как правило, взаимозаменяемо [9]. Именно дроны являются БПС, так как из общего их понимания выделяются отдельные виды их использования в той или иной среде передвижения с учетом их физических особенностей и возможностей.

В течение последнего десятилетия в большинстве стран мира быстро развивались не только такие технологии беспилотных систем как БПЛА самолетного или вертолетного типов, но и дронные варианты, и их роботизированные гибриды-трансформеры, все больше охватывая различные сферы деятельности, включая: средства массовой информации, культуру, сельское хозяйство, дикую природу, экологический надзор, инфраструктуру, геодезию и картографию, строительство, общественную безопасность, доставку коммерческой продукции, отдых, здравоохранение и ряд др., поскольку их технологии стали более совершенными, а затраты заметно снизились [10, 11].

Дроны — многообещающая технология для улучшения выживаемости, для получения высоких результатов в качестве жизни пациентов, особенно для тех, кто проживает в отдаленных районах, или где нет средств или соответствующей инфраструктуры [12]. По сравнению с наземным транспортом экономическая эффективность дронов, скоростные возможности и практическое удобство делают их особенно применимыми в области неотложной медицины. Исследования, проведенные на сегодняшний день, показывают, что использование дронов в неотложной медицинской помощи вполне осуществимо и будет принято общественностью, так как имеет большие перспективы для будущего широкого применения.

Растущая во всем мире плотность населения в крупных городских центрах создает серьезные проблемы для транспортных систем [13]. В отличие от традиционных видов транспорта, таких как автомобили или поезда, которые ограничены пространством

для наземного передвижения, летающие автомобили (БПЛА, дроны и воздушные такси) не занимают их двухмерное пространство передвижения. Они обладают определенной степенью свободы в пространстве и времени, меньшими перемещениями и, следовательно, меньшим стрессом для своих пользователей [14, 15]. Услуги воздушного транспорта могли бы стать решением этой растущей проблемы, переведя существующую транспортную систему в трехмерное пространство [16].

В отличие от традиционных средств передвижения в сфере городской мобильности пассажиров соответствующим бизнес-моделям более сложных пассажирских воздушных транспортных средств для городского применения уделяется значительно меньше внимания [13]. Тем не менее крупные компании и энтузиасты-исследователи по всему миру непрерывно работают с различными архитектурами, алгоритмами и методами, чтобы протестировать воздушный транспорт ближайшего будущего для безопасного и автономного обслуживания значительной части населения [14, 17]. Сейчас в зарубежной научной печати и средствах массовой информации широко освещаются невероятные перспективы и прогресс полностью электрических и гибридных авиационных аппаратов и машин с вертикальным взлетом и посадкой для транспортировки пассажиров в условиях населенных пунктов [14–18].

Целью нашей работы является обзор текущих научных исследований по изучению современных и перспективных возможностей использования БПС для проведения поисково-спасательных операций и оказания ЭНМП населению на догоспитальном этапе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа представляет собой обзор литературы преимущественно зарубежных авторов с последующим аналитическим исследованием возможностей использования БПЛА при проведении поисково-спасательных работ, а также при оказании медицинской помощи раненым, больным и пострадавшим на догоспитальном этапе. Поиск информации проведен за период 2018–2023 годов с использованием медицинских баз данных *Melline*, *PubMed*, *Scopus*, *ISI Web of Science*. Для анализа использованы проспективные и ретроспективные обсервационные исследования высокого методологического качества, метаанализы и систематические обзоры более 230 литературных источников, из которых отобрано всего 55. Для статистической оценки частотных характеристик применялись показатели инцидента и преваленса. Расчет обобщенных частотных показателей для больших выборок был проведен с указанием 95% и более доверительного интервала.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из истории. Если не учитывать изобретение древним человеком первого деревянного копья с каменным наконечником и первой стрелы с хвостовым оперением, выпущенной в воздушное пространство из лука, определенно ставшей прототипом современных крылатых ракет, то первое беспилотное воздушное летательное средство было создано китайскими философами V века до н.э. Мози и Лу Бану, которые запустили в небо первого воздушного змея на веревке. В этот же период древнегреческим философом и математиком А. Тарентским был разработан первый автономный летательный аппарат в виде модели птицы,

который пролетел в воздушном пространстве около 200 метров.

Историческая эволюция беспилотников началась с открытия автономных механизмов во времена Пифагора, вклад в которое внес Архит из Тарантаса. Первым, кто произвел на своих эпохальных рисунках-чертежах прообраз современного вертолета, предусмотрев возможность использования окружающей воздушной среды в качестве опорно-движущей силы для его вероятного и устойчивого полета, был всемирно известный Леонардо да Винчи. В последующем спроектировали и создали свои первые летательные аппараты М.В. Ломоносов и Г. Филиппс.

На основе достижений «второй промышленной революции» с возникновением практического воздухоплавания и изобретением радио ученым и энтузиастам потребовались более сложные БПС. Уже в 1898 году известным изобретателем Н. Тесла был создан первый в мире дрон-лодка на дистанционном радиоуправлении, что в последующем побудило ученых к развитию беспилотных управляемых объектов в различных средах их передвижения, в чем виделось очень перспективное будущее [7].

Настоящий прорыв в области БПЛА был достигнут в 1907 году, когда греческий инженер Архидамос Паппадакис создал первый беспилотный самолет, оснащенный системой радиоуправления, который мог выполнять задания аэрофотосъемки земной поверхности на расстоянии.

Разработка первого в мире радиоуправляемого БПЛА с четырьмя несущими винтами и часовым механизмом принадлежит Ч. Кеттерингу (1916), а на его основе в 1917 году по заказу армии США Н. Киффер разработал одну из предшественников современных крылатых ракет — экспериментальную модель беспилотной «воздушной торпеды» под названием «Жук Кеттеринга», заложив основу для будущего развития боевых БАС. Однако разработка радиоуправляемого БПЛА с вертикальным взлетом и посадкой принадлежит эмигрировавшему в США нашему соотечественнику Г.А. Ботезату, который в 1922 году построил, а затем лично испытал свой многоразовый квадрокоптер, способный подняться в воздух с человеком на борту.

С тех пор в подобных технологиях первостепенно нуждалась любая армия мира, и эти беспилотники чаще называли военными беспилотниками. Так, в период второй мировой войны за подобные разработки приступили Германия и СССР, а затем и США. В армии подобные новые технологии в виде БПЛА применялись в качестве мишеней для авиации и при разработке противовоздушных зенитных комплексов; в военной разведке и для бомбометания; для доставки боеприпасов и других грузов. В дальнейшем такие технологии военного назначения начали зарождаться в Японии, Великобритании и Франции, а позже и во всех других развитых странах мира. Лишь с конца 90-х и начала 2000-х годов на основе многих военных разработок и инженерных решений появились и начали интенсивно развиваться первые разработки БПЛА для гражданских целей [7, 10].

Использование БПЛА при поисково-спасательных работах. Как оказалось, дроны способны не только быстро летать, но и эффективно собирать необходимые сведения в реальном времени и доставлять полезную нагрузку, что положило начало в интенсивном экономическом развитии многих производст-

венно-промышленных, коммерческих и социально-бытовых предприятий и организаций, и даже при предоставлении развлекательных и др. услуг [7, 11, 18]. Сейчас дроны производят в самых разных конфигурациях и размерах. Даже миниатюрные их модели способны функционировать в режимах аппаратов средних размеров.

На сегодняшний день БПЛА являются важной силой при поисково-спасательных работах [6]. Применение БПЛА в этих случаях основывается главным образом на технологии дистанционного зондирования [19]. Управление полетом БПЛА включает наземное и воздушное управление. Посредством беспроводной связи наземное управление отправляет команды на летящий беспилотник и собирает от него соответствующие данные для дальнейшей обработки, моделирования и анализа. Дистанционное зондирование со спутников, а также пилотируемое воздушное дистанционное зондирование ограничены в получении информации о спасательных работах из-за характера спасательной обстановки, их стоимости и ряда других факторов. Система дистанционного зондирования БПЛА с лучшим пространственно-временным разрешением и производительностью в режиме реального времени полезна в поисково-спасательных ситуациях, особенно при идентификации жертв ЧС [19–21]. Кроме того, БПЛА может нести различные средства и оборудование, включая камеры высокой четкости, тепловизоры, инфракрасное оборудование ночного видения, газовые детекторы для определения зоны утечки токсичного газа, а также оборудование экстренной связи [20]. Эти средства могут использоваться в соответствии с потребностями сложившейся ситуации, могут делать четкие снимки и более эффективно передавать данные с расстояния 10 км и более, тем самым повышая эффективность спасательных работ. Получив исчерпывающую и точную информацию о ситуации, лицо, принимающее решения, может затем направить спасательные силы и организовать своевременную эвакуацию людей.

Современные БПЛА, оснащенные интеллектуальной системой поиска и анализа, способны работать в автономном режиме [22]. Были изучены возможности автономного полета таких БПЛА над поверхностью моря при имитации кораблекрушения, где выявлена следующая процедура автоматической взаимосвязи:

1. Каждый беспилотник, первично взлетая, летит в случайном направлении, пока не поймает сигналы от выжившего раненого или пострадавшего.

2. Как только обнаруживается радиосигнал с радиомодуля выжившего, беспилотник обменивается информацией с другими БПЛА по сети радиосотовой связи, используя протоколы маршрутизации *OLSR*.

3. Каждый из БПЛА запускает свой модуль интеллектуального поиска и передает общие данные о выжившем в единый модуль (систему) интеллектуального поиска.

4. Единый модуль интеллектуального поиска оценивает местоположение выжившего, если это возможно. Если полученных данных недостаточно для локализации пациента, то он отправляет обратно пакет с недопустимой меткой.

5. Если модуль интеллектуального поиска отправляет достоверную информацию о местоположении выжившего, то единая система поиска и БПЛА пере-

ключаются на поиск выжившего, генерируя обходной путь к предполагаемому местоположению выжившего.

6. Беспилотники автономно летят к путевым точкам, избегая препятствий на пути к предполагаемому местоположению.

7. По мере приближения беспилотника к выжившему регистрируется более точная сигнальная информация о нем, которая повторно отправляет информацию о выжившем в алгоритм интеллектуального поиска и обновляет местоположение выжившего с одновременной передачей данных координат, высоту и наклон БПЛА, а также направление и скорость ветра во время полета. Авторы утверждают, что при таком поисковом сканировании территории на участках 4×4 км и 1×1 км данная интеллектуальная система отслеживала выжившего с ошибками по площади примерно 20×50 м. Более того, авторы предусмотрели возможность идентифицировать пострадавшего по вшитым в индивидуальный радиомодуль данным его генетического кода.

Большие и средние беспилотники с относительно большей грузоподъемностью могут сбрасывать спасательные круги для тонущих людей. Так, в 2018 году была изучена эффективность использования БПЛА с учетом фактора времени, необходимого для предоставления плавучего устройства моделируемой жертве, в разных штормовых условиях моря в сравнении со стандартными спасательными операциями [23]. Установлено, что при умеренном волнении моря в виде штиля это время достоверно не превышало 81 секунду против 179 секунд при доставке спасательного средства традиционной лодкой или катером, а при высоком штормовом морском волнении время доставки такого средства пострадавшему составляло 99 секунд и 198 секунд соответственно ($p < 0,001$).

Подземные горные работы также связаны со значительными рисками техногенных аварий, которые могут носить катастрофический характер. Смягчение последствий подобных явлений напрямую зависит от достоверности и оперативности информации о состоянии параметров многих технологических процессов, горных выработок и расположенных в них сооружений. При отказе стандартных систем промышленной телеметрии в условиях подземных горных работ создание новых информационных каналов и мест измерения информации становится практически невозможным в случае развития аварийной ситуации. Это предопределяет необходимость использования принципиально новых систем сбора и передачи информации, основанных на роботизированных автономных комплексах [24]. Авторы разработали систему автоматического управления движением БПЛА в ограниченном пространстве горной выработки при значительных возмущениях потока воздуха в шахте. Так, при полете БПЛА со скоростью 6 м/с с массой полезной нагрузки до 0,6 кг среднее отклонение не превышало 0,3 м, а максимальное — 1,2 м. При движении БПЛА навстречу турбулентному шахтному потоку воздуха аппарат без отклонений выдерживал встречный поток до 8 м/с. Кроме того, когда скорость БПЛА снижалась до 6 м/с, то его тормозной путь не превышал 6 м, а когда скорость БПЛА составляла 10 м/с, то тормозной путь достигал 12 м.

Коллектив авторов в эксперименте изучили потенциальные возможности использования БПЛА в высоко-

горных поисково-спасательных операциях в сравнении с традиционными методами [25]. Было установлено, что среднее время розыска и прибытия БПЛА к манекену в заснеженных горах не превышало 8,9 минуты, в то время как в серии контроля этот показатель составил 57,3 минуты. При этом среднее значение общей площади поиска составило 88 322,0 м², а контрольные показатели превысили 228 613,0 м². Кроме того, средняя площадь, обыскиваемая за минуту, составила 1489,6 м² и 32 979,9 м² соответственно ($p < 0,01$ для всех сравнений). Вывод этого исследования заключается в том, что обнаружение и последующая доставка пострадавшего в горных, особенно в заснеженных условиях, осуществлялись намного быстрее с использованием БПЛА, что также подтверждают исследования и ряда других ученых [26, 27].

Использование БПЛА на догоспитальном этапе медицинской помощи. Быстро развивающаяся область медицинских БПЛА находится на пороге революционизации догоспитальной медицины, позволяющей оказывать экстренную и неотложную медицинскую и гуманитарную помощь пациентам, которые некогда им были малодоступны.

Медицинские беспилотники могут приносить большую пользу в повышении живучести развернутых сил на поле боя и за его пределами [28]. Детекция признаков жизни является эффективным инструментом для поиска живых на местах стихийных бедствий. Традиционно спасательные датчики перевозятся спасательным персоналом лично, что может быть обременительным и рискованным. Напротив, БПЛА, оснащенные спасательными датчиками, выполняют эту задачу быстро и с хорошими гарантиями безопасности для спасательного персонала. В частности, многороторные беспилотники идеально подходят в этом отношении, поскольку они более управляемы и не предъявляют особых требований к местам взлета и посадки. Оснащенные инфракрасными детекторами, они воспринимают определенный инфракрасный диапазон, излучаемый человеческими телами, а с помощью радар-детекторов они могут анализировать признаки жизни, используя эффект Доплера.

Учитывая определенную сложность поиска людей только по изображению с большой высоты, ряд авторов предложили устанавливать на дроны высокочувствительные микрофоны для обнаружения человеческого голоса, что существенно повысило эффективность поисково-спасательных операций в реальном режиме времени [20, 29].

Предполагается, что беспилотники более точно и правильно оценивают состояние внешних физиологических функций человека, когда они приземляются на тела пациентов, чем когда парят над ними.

Al-Naji A. et al. (2019) был предложен новый метод обнаружения пострадавших, при котором данные БПЛА на расстоянии могут обнаруживать сердечно-легочные движения, вызванные периодическими движениями их грудной клетки [30]. Кроме того, система со 100% точностью успешно обнаруживает признаки жизни в различных других позах человека, что указывает на ее потенциал в качестве будущего инструмента для исполнения экстренных поисково-спасательных мероприятий. Эта технология также стала отличным инструментом для обнаружения людей не только на земной поверхности, но и в открытом море [31].

Особое значение БПЛА могут играть в догоспитальной сортировке с целью оказания первой помощи и эвакуации раненых и пострадавших из опасных участков территории или поля боя [32]. При массовом поступлении пациентов решающее значение приобретает разумная организация спасательных сил для большинства групп раненых; быстрое реагирование и координация спасательных подразделений, а также своевременная транспортировка раненых на этап квалифицированной медицинской помощи для их комплексного лечения.

Lu J. et al. (2023) использовали БПЛА с искусственным интеллектом и технологией мобильной связи пятого поколения (5G) с передачей данных в режиме реального времени для проведения первичной сортировки на месте при моделировании сцены массового травматического поражения при ЧС [33]. Были разработаны и распознаны семь поз пострадавших по изменениям головы и конечностей для выполнения быстрой, но значимой их сортировки. Так, используя записанный голосовой инструктаж, исходящий из БПЛА, невредимым предлагалось поднять две верхние конечности вверх; легкораненым поднять только одну руку; не ходячим (средняя степень травмы) поднять одну любую здоровую конечность; а к тяжелым относили тех пациентов, кто не в состоянии был отвечать на вопросы. Это позволило быстро провести условную сортировку раненых и оперативно передать сведения в центральный аналитический орган управления для экстренного принятия соответствующих лечебно-эвакуационных решений. Такое мероприятие позволяет значительно повысить эффективность сортировки на месте, тем самым обеспечив более быстрое реагирование медицинских бригад.

Jain T. et al. (2018) в эксперименте изучили эффективность проведения догоспитальной медицинской сортировки раненых и пострадавших как в дневное, так и в ночное время, с использованием технологий БПЛА в сравнении с традиционной сортировкой студентами-медиками [34]. Установлено, что достоверная разница традиционной сортировки пациентов между дневным и ночным временем у студентов-медиков составила в среднем 63 минуты, а в случае БПЛА-сортировки — всего 3,49 минуты. Это свидетельствует о том, что использование БПЛА при сортировке практически не зависело от времени суток и не увеличивало время пребывания пациентов на месте происшествия.

Технологии дронов в сочетании с глобальной навигационной спутниковой системой ГЛОНАСС и GPS, компьютерным зрением в реальном времени и методами глубокого обучения могут позволить дронам оказывать точную помощь службам экстренного реагирования в течение короткого периода времени [35]. Новая методика, в которой используется рой БПЛА, а не один беспилотник, эффективна при поиске пропавших людей на большой территории и высоте, а также в труднодоступных местах, сокращая затраты и время при одновременном повышении или поддержании качества поисково-спасательных операций [36]. Авторы предложили и новое техническое решение, называемое алгоритмом многоуровневого поиска и спасения (LSAR), который способствует увеличению количества спасенных раненых и пострадавших по мере увеличения количества дронов [37].

В течение многих лет исследователи интересовались своевременной доставкой медицинских средств

и принадлежностей первой необходимости в пострадавший от стихийного бедствия регион или в очаги возникших чрезвычайных ситуаций. Опыт некоторых исследователей показал, что своевременная доставка этих медицинских материалов при многих экстренных и неотложных состояниях приводит к улучшению результатов лечения пациентов [29, 38].

Многообещающие данные ряда исследователей свидетельствуют о том, что БПЛА могут сократить время до вмешательства за счет быстрой доставки, например, автоматических внешних дефибрилляторов (АВД) или антидотов, или противосудорожных средств, или же препаратов крови и других средств и предметов медицинского назначения [5, 39]. Так, *Banerjee P. et al.* (2021) утверждают, что каждая минутная задержка реанимации службой СМП на месте происшествия после внебольничной остановки сердца у детей снижает показатель восстановления спонтанного кровообращения на 5%, притом, что шансы дожить до выписки из больницы с каждой такой минутой задержки также пропорционально снижаются в среднем на 12% [40].

Cheskes S. et al. (2020) на основании экспериментальных исследований утверждают, что экстренная доставка АВД к пациенту более оперативная и целесообразная с помощью БПЛА в сравнении с традиционным приездом бригады ЭНМП не столько в городских, сколько в пригородных и особенно отдаленных сельских населенных пунктах [41, 42]. По их сведениям ежегодно более 420 000 американцев испытывают остановку сердца с выживаемостью примерно около 10%. Поэтому серьезной проблемой при лечении этого острого патологического состояния по-прежнему остается быстрый доступ к АВД, которые могут увеличить выживаемость до 40%. Расчеты показали, если на закрепленной территории будет работать организованная сеть БПЛА, оснащенных АВД, то сроки их доставки к потерпевшему сокращаются до 10,6 минуты, а если взлет такого БПЛА произошел в течение 1 минуты после телефонного вызова, то практическая эффективность использования АВД для восстановления жизнеспособности организма человека возрастает с 4,3 до 80% случаев. Поэтому многие авторы рекомендуют более широко развивать сетевую систему комплектации населенных территорий в пригородной зоне, в том числе и на территории дачных поселков [43–45]. Авторы также считают, если покрыть одним и тем же количеством БПЛА с АВД территорию только на 70%, то можно было бы доставить АВД к пациенту менее чем за 5 минут, а если при том же количестве БПЛА с АВД увеличить территорию охвата до 98%, то доставка АВД к пациенту будет обеспечена менее чем за 10 минут. При этом как минимум 95% населения было бы охвачено идеальным размещением БПЛА в пределах данного территориального района, а время отклика дронов было бы в 5 раз выше, чем у наземной службы СМП.

Fischer P. et al. (2023) в имитационном исследовании показали, что доставка АВД с помощью БПЛА в горные районы в 22 сценариях составила в среднем 5,2 минуты, однако парамедики, выехавшие на автомобиле, приступили к оказанию первой помощи только лишь через 12,15 минуты, а время «отключения» их рук от «пациента» составило 50 секунд, в то время как у непрофессионалов эти показатели составили 14,04 минуты и 2,11 минуты соответственно [46]. Если

предположить, что хотя бы в 46% случаев при внебольничной остановке сердца были опытные свидетели, умеющие использовать АВД, то сеть из 500 дронов сократила бы средний срок доставки дефибриллятора с 7,7 до 2,7 минуты [39]. При этом ожидаемые показатели выживаемости увеличились бы вдвое (с 12,3 до 24,5%), что привело бы к дополнительному критерию эффективности в виде 30 267 лет жизни (или 858 долларов США за каждого спасенного пациента в год). Таким образом, развитие сети дронов с АВД является экономически эффективным в широком диапазоне допущений.

Homier V. et al. (2020) сравнили возможность доставки имитируемых препаратов крови (эритроцитарной и тромбоцитарной массы и плазмы) в городской травматологический центр с помощью БПЛА и наземным транспортом, в том числе и с учетом поддержания должной температуры имитируемых препаратов крови в заданном диапазоне [47]. Установлено, что транспортировка гематологических препаратов с помощью БПЛА не превышала 17,06 минуты, в то время как при транспортировке наземным автотранспортом это время составило более 21,6 мин. Кроме того, в основной серии опытов температура имитируемых препаратов крови оставалась в пределах соответствующих допустимых диапазонов в течение всего периода транспортировки, а в серии контроля эти показатели в своем большинстве выходили за пределы допустимых значений.

Scalea J.R. et al. (2018) на основании статистических данных утверждают, что в США средний процент непригодных для трансплантации почек после их авиатранспортировки и холодовой ишемии составляет примерно 20%. Они в эксперименте на модели почек изучили возможность использования БПЛА вертолетного типа в сравнении и турбовинтовым самолетом для доставки этих внутренних органов с целью их немедленной трансплантации [48]. Полет длился в среднем 28 минут, во время которого органы подвергались соответствующему вибрационному воздействию транспортных средств и высотных барометрических перегрузок. По окончании полета во всех случаях почки подвергались патоморфологическому исследованию. Установлено, что при транспортировке почек БПЛА патоморфологических изменений в структуре тканей не выявлено. Однако при самолетном типе доставки органов в аэропорт на гистологических срезах в 12% случаев отмечались различной интенсивности признаки гломерулярного склероза, а также коркового рубцевания и гиалиноза. Эти патологические изменения были обусловлены не только бортовой вибрацией транспортного судна и барометрическими нагрузками, но и длительной холодовой ишемией почек. Поэтому с развитием более быстрых и крупных дронов доставка ими органов на большие расстояния может привести к существенному сокращению времени холодовой ишемии, последующему улучшению качества органов и спасению тысяч жизней пациентов.

Наряду с доставкой различных жизненно важных как медицинских, так и гуманитарных принадлежностей во времени с помощью БПЛА [29, 39, 49], некоторыми авторами была проведена оценка возможности использования БПЛА при пандемии COVID-19 в реальных условиях [19, 27, 50–52]. Их исследования продемонстрировали не только успешную транспортировку БПЛА оборудования бригад медицинской помощи при

ЧС в виде АВД, лекарственных препаратов и даже продуктов питания, особенно в отдаленных и сельских районах. Так, в Австралии, Китае, Индии, США и некоторых других странах во время пандемии COVID-19 мониторинговый полет дронов, в частности над перенаселенными городами, позволял дистанционно определять «сомнительный» характер дыхания среди населения на расстоянии до 55–60 метров. Одновременно с этим массовый скрининг с помощью встроенных в дрон видеокамер и датчиков, а также технологий компьютерного зрения, помогал вести непрерывное наблюдение за толпой людей, регистрируя их температуру тела, частоту сердечного пульса, дыхания, а также выявлять чихание, кашель и другие отклонения. А в Гане и Руанде небольшие беспилотники доставляли как медикаменты, так и тест-анализы на коронавирус из более чем 1 тыс. медицинских учреждений в лаборатории в городах Аккра и Кумаси. Кроме тестов, дроны в этот же период транспортировали до 25% национальных запасов крови страны за пределами столицы, что составляло свыше 7 тыс. пакетов препаратов крови при более 4 тыс. полетов беспилотников.

БПЛА использовались для звукового оповещения населения по соблюдению противоэпидемического режима, а также для профилактической санитарной обработки населения и дезинфекции объектов и территории путем распыления соответствующих антисептических и дезинфицирующих средств. Свыше 2,6 тыс. БПЛА были использованы для дезинфекции на площади 902 млн м² в 20 провинциях Китая. Более того, в первые дни вспышки коронавируса в Ухане БПЛА выполняли функцию ночного освещения строительных площадок, что помогло чрезвычайно быстро построить больницы Хуошэншань и Лейшеншань, предназначенные исключительно для приема пациентов с коронавирусом, а в последующем вести динамическое сканирование пациентов внутри стационаров временно развернутых инфекционных госпиталей на базе спортивных объектов. В некоторых случаях в отдаленных районах БПЛА использовали в качестве ретрансляторов беспроводной связи с целью быстрого реагирования соответствующих служб спасения [19].

Из выше упомянутого следует, что использование БПЛА и БАС, в том числе оснащенных системой искусственного интеллекта, имеют обширный диапазон для их внедрения в практическое здравоохранение, что особенно ценно при массовом возникновении пациентов с той или иной патологией или находящихся в сложных условиях их пребывания.

В настоящее время активно ведутся разработки принципиально новых видов БПЛА, способных выполнять функции «воздушного такси», или «аэромобиля» с вертикальным взлетом и посадкой для авиатранспортировки пассажиров и грузов на небольшие расстояния, образцы которых были разработаны еще в конце 90-х годов прошлого века. Сейчас некоторые европейские страны готовятся к развертыванию усовершенствованной системы воздушной мобильности для обеспечения беспилотных воздушных такси, грузовых рейсов, медицинских и пассажирских рейсов, а также для осуществления полетов непрерывного автоматического наблюдения и т.д. [53]. Такие аппараты сейчас разрабатывают в некоторых других странах мира с целью их внедрения в качестве городского и пригородного авиатранспорта. На этих и других подобных разработках акцентируют внимание и многие ученые-

медики [6, 19, 28, 29]. Например, еще в 2006 году был разработан и поступил на снабжение в армию Израиля роботизированный медико-эвакуационный дрон с вертикальным взлетом и посадкой под названием “Cormorant”, способный в автономном режиме обеспечить эвакуацию одного раненого или пострадавшего с поля боя в тыл для оказания квалифицированной медицинской помощи. Также для эвакуации раненого с поля боя в США был создан аппарат под названием DP-14 Hawk, который помещается в салоне автомобиля типа традиционной машины СМП и многие другие.

Ведутся подобные разработки и в России. Однако несмотря на то что дроны — многообещающая технология для улучшения выживаемости, результатов и качества жизни пациентов, особенно для тех, кто проживает в отдаленных районах, или где нет средств или соответствующей инфраструктуры, а их скорость, удобство и экономическая эффективность по сравнению с наземным транспортом, делают их особенно применимыми в области экстренной и неотложной медицины, все же дальше отдельных экспериментальных образцов БАС и БПЛА процесс, к сожалению, не движется, что обусловлено рядом серьезных проблем и нерешенных задач [19, 54], в том числе:

1. В РФ отсутствует четкая законодательная поддержка использования БПЛА и БАС при аварийно-спасательных работах. Соответствующие законы дают лишь весьма обобщенное описание, без конкретных правил, касающихся правового статуса поисково-спасательных подразделений, использующих в работе БПЛА, а также стандартов проведения спасательных операций с использованием БАС. Аварийно-спасательные работы с БПЛА связаны с общественной безопасностью, метеорологией, транспортом и другими областями, но существующие законы также неясны и в этом отношении.

2. В РФ существует строгий контроль над воздушным пространством на малых высотах. Полеты в этом сегменте воздушного пространства, как правило, ограничены или запрещены, а процесс его открытия идет медленно. Воздушное пространство на малых высотах является основным воздушным пространством для участия БПЛА в аварийно-спасательных работах.

3. Закон России о реагировании на ЧС устанавливает принцип единого руководства и иерархической ответственности, но административный контроль над беспилотниками неясен, поскольку он разделен между многочисленными органами власти, которые не обмениваются информацией. Из-за сложности подачи заявки на использование воздушного пространства, вероятно, будут упущены важнейшие возможности спасения и снижена эффективность спасения, поскольку технология БПЛА должна быть интегрирована в единые авиационные системы, так как воздушные суда будут использовать одно и то же воздушное пространство.

4. В связи с высоким риском эксплуатации БПЛА требуется разработка эксплуатационных стандартов, стандартов летной годности и стандартов персонала, а также системы управления безопасностью полетов.

5. Несовершенство и техническая поддержка длительной непрерывной активной работы БПЛА (маломощные и тяжелые аккумуляторные батареи, несовершенство обхода препятствий в полете, ограниченность в эксплуатации при неблагоприятных погодных условиях и др.).

6. Недостаток профессионального персонала для эксплуатации и технического обслуживания БАС и БПЛА, отсутствующий соответствующие учебные заведения для подготовки таких специалистов, что приведет к нестандартной эксплуатации беспилотной техники и некомпетентности в решении сложных задач и др.

Одной из проблем, на которую необходимо также обратить внимание, является наличие запрещенных зон, где нельзя использовать беспилотники. Разработка маршрутов БПЛА в пределах бесполетных зон является важнейшей областью исследований. Кроме того, для облегчения и обеспечения безопасности доставки гуманитарной помощи с помощью БПЛА возникает необходимость заключения между странами соответствующего международного соглашения, действующего на постоянной основе.

Тем не менее проведенные исследования показывают, что использование беспилотных дронов в сфере экстренной и неотложной медицины осуществимо и будет воспринято общественностью должным образом, так как экономически это эффективно и имеет широкие возможности для их практического применения.

По мнению Лопоты А. (2019) подробный анализ технических и функциональных характеристик многих разработок БАС позволяет выделить общие тенденции развития устройств подобного типа, включая:

1) объединение функциональных возможностей разного медицинского и немедицинского оборудования (монитор пациента, аппарат искусственной вентиляции легких, инфузионный шприцевой дозатор, автоматический дефибриллятор, ультразвуковой сканер, концентратор кислорода, аппарат для анестезии, видео- и аудиоаппаратура, аппаратура связи) в одном устройстве путем реализации модульного принципа построения;

2) полную или частичную автоматизацию мероприятий сердечно-легочной реанимации (СЛР) и интенсивной терапии в соответствии с алгоритмами проведения СЛР;

3) повышение уровня автономности работы комплексов за счет применения систем поддержки и принятия решений по определению симптомов патологических состояний, для постановки диагноза и (или) оценки тяжести состояния пострадавшего, а также использование экспертных систем, построенных на технологиях байесовских сетей доверия, нейронных сетей и искусственного интеллекта. Это позволяет ставить диагноз вероятностным методом по наличию или отсутствию тех или других симптомов, а также определять виды и объемы лечения пациентов;

4) уменьшение массогабаритных характеристик разрабатываемых комплексов;

5) интеграцию технологий изоляции пациентов, у которых выявлено подозрение на заражение особо опасными инфекциями.

Говоря о перспективах использования БПЛА в этом контексте, нельзя не упомянуть служебный транспорт в виде машин скорой помощи. Перспективы использования таких летающих машин действительно воодушевляют, поскольку такой транспорт будет прибывать четко в срок, следуя по оптимально составленному маршруту и заранее сообщая абоненту примерное время прибытия [55]. Возможно, вызов такого средства будет полностью автоматизирован, что позволит

исключить человеческий фактор и все вытекающие особенности.

Для осуществления круглосуточного мониторинга при поисково-спасательных работах срок службы БПЛА должен быть увеличен за счет высокоэффективных батарей [19, 56]. Кроме того, необходимо повысить их выносливость в суровых условиях, таких как сильный ветер или экстремальные перепады температур. БПЛА также можно сделать более интеллектуальными за счет использования искусственного интеллекта, технологии 5G и спутникового позиционирования, чтобы они могли воспринимать окружающую среду, избегать препятствий и даже автоматически возвращаться при возникновении условий высокого риска.

Технический прогресс от БПЛА с дистанционным управлением до полностью автономных БПЛА станет еще одним прорывом, который, вероятно, произойдет в ближайшем будущем. Кроме того, интегрированная коммуникационная платформа, созданная путем подключения сети БПЛА к сотовой сети или сети 5G, может облегчить разнонаправленную связь между БПЛА, наземными спасательными командами и другими спасательными подразделениями.

Интеллектуальные материалы постоянно приобретают все большее значение во многих отраслях, включая аэрокосмическую [57]. Это связано с уникальными свойствами этих материалов, такими как самоощущение, самоадаптируемость, возможности памяти и разнообразные другие функции. Такие материалы непременно найдут свое достойное место в разработке новых технологий БАС.

Несомненными преимуществами внедрения новых образцов БПЛА в практическое здравоохранение являются: низкая себестоимость производства; широкие возможности их применения; надежность в устранении человеческих ошибок; длительное время активной работы в воздухе; способность к вертикальному взлету и посадке в любых условиях и многие другие [32].

Перспективность рынка БПЛА. По данным Фаттахова М.Р. и соавт. (2022), за период 2000–2020 годов в Роспатент подано 3 789 заявлений на получение патентов на БПЛА [58]. Большая часть заказчиков (66,8%) относятся к сфере обороны, безопасности, обеспечения правопорядка, предупреждения и ликвидации последствий ЧС (30,3%), науки и образования (26,4%), а также государственному и муниципальному управлению (10,1%). Рост патентов и госзакупок свидетельствуют об интересе к данной технологии как со стороны компаний-производителей, так и со стороны потребителей услуг, оказываемых с использованием БАС. Развитие российского рынка БАС в определенной степени ограничивается недостаточным уровнем обеспеченности и развития нейротехнологий и технологий искусственного интеллекта; технологий работы с большим объемом данными; производственных технологий, технологий робототехники и сенсорики, технологий систем распределенного реестра, технологий беспроводной связи, технологий виртуальной и дополненной реальности, технологий промышленного интернета (Интернета вещей), а также отраслевых цифровых технологий.

В настоящее время потенциал использования дронов в РФ составляет более 1 млрд. долларов США в год. Развитие рынка БАС РФ сдерживает авиационное регулирование и отсутствие инфраструктуры (сис-

тем управления трафиком, удаленной идентификации, станций зарядки и разгрузки и др.). По данным Росавиации, в настоящее время 95% приобретенных БПЛА в РФ остаются незарегистрированными.

Объем мирового рынка медицинских дронов наберет обороты, достигнув 1410,9 млн долларов США лишь к 2028 году, а к 2035 году он составит 2–3 млрд. Согласно исследованию *Huawei*, на российский рынок дронов приходится всего 4% от мирового.

Таким образом, использование БПЛА на догоспитальном этапе, особенно при ЧС, имеет следующие преимущества: БПЛА способствуют сокращению времени, необходимого для поиска и оказания помощи раненым, больным и пострадавшим, находящимся на большом территориальном удалении и в труднодоступных местах. С помощью компьютерного «зрения» и таких датчиков, как шумовое зондирование, бинарное зондирование, вибрация и тепловое зондирование, дроны способны обеспечить поиск живых пациентов не только в море, высоко в горах и в шахтах, но и погребенных под завалами зданий и сооружений. БПЛА демонстрируют преимущества при экстренной и неотложной доставке медицинской реанимационной и другой медицинской техники, лекарственных средств, препаратов крови и органов для трансплантации пациентам, особенно находящихся в удаленных местах. С помощью БПЛА возможно эффективно проводить сортировку пациентов при массовых санитарных потерях, осуществлять дезинфекцию и дистанционно вести мониторинг состояния здоровья пациентов при высококонтагиозных инфекционных заболеваниях и других патологических состояниях, а также сократить время для предоставления других медицинских и гуманитарных услуг населению. Очевидно, что применение БПЛА требует дальнейшего изучения их перспективных возможностей, особенно в реальных условиях деятельности служб ЭНМП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние 5 лет отмечено значительное увеличение числа публикаций, посвященных возможностям и значимости беспилотных авиационных систем и беспилотных летательных аппаратов на догоспиталь-

ном этапе, что подразумевает и значительный рост знаний, осведомленности и популярности применения беспилотных летательных аппаратов в экстренных и неотложных ситуациях, включая чрезвычайные ситуации. Однако большая часть существующей литературы носит экспериментальный характер, внося некоторые погрешности в определенные характеристики беспилотных летательных аппаратов из-за отсутствия их использования в реальных условиях чрезвычайных ситуаций и катастроф.

Большинство исследований показали, что технические возможности дронов или подобные инновационные подходы обусловлены внедрением в строительство беспилотных летательных аппаратов радиотехнологий и компьютерной информатики, которые улучшают эксплуатационные характеристики дронов. Однако в работах уделялось мало внимания непосредственному использованию беспилотных летательных аппаратов в процедурах оказания экстренной и неотложной медицинской помощи, поскольку большинство исследований было сосредоточено на поисково-спасательных задачах, а также на транспортировке медицинских средств, оборудования или предметов первой необходимости с помощью беспилотников.

Нет ни одного сообщения, посвященного достаточному практическому опыту использования беспилотных летательных аппаратов для медицинской эвакуации пациентов из догоспитального этапа на этап стационарной квалифицированной и специализированной медицинской помощи. В результате для решения этой проблемы необходимы дополнительные исследования. Несмотря на то, что системы беспилотных летательных аппаратов при достаточном их развитии могут использоваться в различных других областях, все же необходимо провести ряд существенных организационных и технических мероприятий для устранения существующих проблем и нерешенных задач по широкому использованию беспилотных авиационных систем и беспилотных летательных аппаратов на догоспитальном и межгоспитальном этапах, особенно при чрезвычайных ситуациях, стихийных бедствиях и катастрофах с массовыми санитарными потерями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 20 июня 2013 г. № 388н «Об утверждении Порядка оказания скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи» (с изменениями и дополнениями) URL: <https://base.garant.ru/70438200/?ysclid=lnq0f3wlm0816266597> [Дата обращения 20.08.2024]
2. Шарипов А.М., Сафаров З.Ф. Проблемы современной догоспитальной помощи и медицины катастроф. *Вестник национального детского медицинского центра (Узбекистан)*. 2022;(2):91–95.
3. Комплексное наблюдение условий жизни населения. Итоги наблюдения. Статистические таблицы. *Росстат*. 2018. Таблицы 34.1-Получение скорой медицинской помощи; 34.1.1-Получение скорой медицинской помощи лицами старше трудоспособного возраста. URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/KOUZ18/index.html [Дата обращения 20.08.2024]
4. Колесников А.В., Бреусов А.В., Шичанин В.В., Бреусов Р.А. Удовлетворенность населения региона качеством работы службы скорой медицинской помощи. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина*. 2017;21(1):109–116. <https://doi.org/10.22363/2313-0245-2017-21-1-109-116>
5. Nimilan V, Manohar G, Sudha R, Pearley S. Drone-aid: An aerial medical assistance. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. 2019;8(11 Suppl):1288–1292. <https://doi.org/10.35940/ijitee.K1260.09811S19>
6. Pulsiri N, Vatananan-Thesenvilz R. Drones in Emergency Medical Services: A Systematic Literature Review with Bibliometric Analysis. *International Journal of Innovation and Technology Management*. 2021;18(4):2097001. <https://doi.org/10.1142/S0219877020970019>
7. Коннова Л.А., Бончук Г.И. Об истории беспилотных летательных аппаратов и перспективах их использования в практике спасательных работ. *Российские беспилотники*. 2018. URL: <https://russiandrone.ru/publications/ob-istorii-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-i-perspektivakh-ikh-ispolzovaniya-v-praktike-spasatelnykh-rabot> [Дата обращения 20.08.2024]
8. Schaller A-A, Vatananan-Thesenvilz R, Pulsiri N, Schaller A-M. The Rise of digital business models: An Analysis of the knowledge base. In: *2019 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, (Portland, 25–29 August 2019). Portland, OR, USA; 2019. pp. 609–621. <https://doi.org/10.23919/picmet.2019.8893696>
9. Mairaj A, Baba A, Javaid A. Application specific drone simulators; Recent advances and challenges. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2019;94(4):100–117. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.01.004>
10. Rosser JB Jr, Parker BC, Vignesh V. Medical Applications of Drones for Disaster Relief: A Review of the Literature. *Surg Technol Int*. 2018;33:17–22. PMID: 30384393
11. Rosser JC Jr, Vignesh V, Terwilliger BA, Parker BC. Surgical and Medical Applications of Drones: A Comprehensive Review. *JSLs*. 2018;22(3):e2018.00018. PMID: 30356360 <https://doi.org/10.4293/JSLs.2018.00018>
12. Johnson AM, Cunningham CJ, Arnold E, Rosamond WD, Zègre-Hemsey JK. Impact of Using Drones in Emergency Medicine: What Does the Future Hold? *Open Access Emerg Med*. 2021;13:487–498. PMID: 34815722 <https://doi.org/10.2147/OAEM.S247020> eCollection 2021.

13. Straubinger A, Michelmann J, Biehle T. Business model options for passenger urban air mobility. *CEAS Aeronaut J.* 2021;12(2):361–380. PMID: 33868510 <https://doi.org/10.1007/s13272-021-00514-w>
14. Ferrão IG, Espes D, Dezan C, Branco KR. Security and Safety Concerns in Air Taxis: A Systematic Literature Review. *Sensors (Basel).* 2022;22(18):6875. PMID: 36146224 <https://doi.org/10.3390/s22186875>
15. Ploetner KO, Al Haddad C, Antoniou C, Frank F, Fu M, Kabel S, et al. Long-term application potential of urban air mobility complementing public transport: an upper Bavaria example. *CEAS Aeronaut J.* 2020;11(4):991–1007. PMID: 33403052 <https://doi.org/10.1007/s13272-020-00468-5>
16. Feldhoff E, Soares Roque G. Determining infrastructure requirements for an air taxi service at Cologne Bonn Airport. *CEAS Aeronaut J.* 2021;12(4):821–833. PMID: 34466167 <https://doi.org/10.1007/s13272-021-00544-4>
17. Birrell S, Payre W, Zdanowicz K, Herriots P. Urban air mobility infrastructure design: Using virtual reality to capture user experience within the world's first urban airport. *Appl Ergon.* 2022;105:103843. PMID: 35810501 <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103843>
18. Rajendran S, Pagel E. Recommendations for emerging air taxi network operations based on online review analysis of helicopter services. *Heliyon.* 2020;6(12):e05581. PMID: 33305048 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05581> eCollection 2020 Dec.
19. Li T, Hu H. Development of the Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Emergency Rescue in China. *Risk Manag Healthc Policy.* 2021;14:4293–4299. PMID: 34703340 <https://doi.org/10.2147/RMHP.S323727> eCollection 2021.
20. Mohd Daud SMS, Mohd Yusof MYP, Heo CC, Khoo LS, Chainchel Singh MK, Mahmood MS, et al. Applications of drone in disaster management: A scoping review. *Sci Justice.* 2022;62(1):30–42. PMID: 35033326 <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.11.002>
21. Gross RJ. Complete evolution and history of drones: from 1800s to 2022. Available at: <https://www.propelrc.com/history-of-drones/> [Accessed 20.08.2024]
22. Oh D, Han J. Smart Search System of Autonomous Flight UAVs for Disaster Rescue. *Sensors (Basel).* 2021;21(20):6810. PMID: 34696023 <https://doi.org/10.3390/s21206810>
23. Seguin C, Blaqui re G, Loundou A, Michelet P, Markarian T. Unmanned aerial vehicles (drones) to prevent drowning. *Resuscitation.* 2018;127:63–67. PMID: 29653153 <https://doi.org/10.1016/j.resuscitati.2018.04.005>
24. Kim ML, Pevzner LD, Temkin IO. Development of automatic system for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) motion control for mine conditions. *Mining Science and Technology (Russia).* 2021;6(3):203–210. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-203-210>
25. Karaca Y, Cicek M, Tatli O, Sahin A, Pasli S, Beser MF, et al. The potential use of unmanned aircraft systems (drones) in mountain search and rescue operations. *Am J Emerg Med.* 2018;36(4):583–588. PMID: 28928001 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.09.025>
26. Cappello TD, Mas  M, Falla M, Regli IB, Mejia-Aguilar A, Mayrg ndter S, et al. Drones reduce the treatment-free interval in search and rescue operations with telemedical support – A randomized controlled trial. *Am J Emerg Med.* 2023;36:40–44. PMID: 36680868 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2023.01.020>
27. van Veelen MJ, Voegel  A, Rauch S, Kaufmann M, Brugger H, Strapazzon G. COVID-19 Pandemic in Mountainous Areas: Impact, Mitigation Strategies, and New Technologies in Search and Rescue Operations. *High Alt Med Biol.* 2021;22(3):335–341. PMID: 34319777 <https://doi.org/10.1089/ham.2020.0216>
28. Braun J, Gertz SD, Furer A, Bader T, Frenkel H, Chen J, et al. The promising future of drones in prehospital medical care and its application to battlefield medicine. *J Trauma Acute Care Surg.* 2019;87(1S Suppl 1):S28–S34. PMID: 31246903 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002221>
29. Yamazaki Y, Premachandra C, Perea CJ. Audio-Processing-Based human detection at disaster sites with unmanned aerial vehicle. *IEEE Access.* 2020;8:101398–101405. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998776>
30. Al-Najji A, Perera AG, Mohammed SL, Chahl J. Life Signs Detector Using a Drone in Disaster Zones. *Remote Sensing.* 2019;11(20):2441. <https://doi.org/10.3390/rs11202441>
31. Lygouras E, Santavas N, Taitzoglou A, Tarchanidis K, Mitropoulos A, Gasteratos A. Unsupervised Human Detection with an Embedded Vision System on a Fully Autonomous UAV for Search and Rescue Operations. *Sensors (Basel).* 2019;19(16):3542. PMID: 31416131 <https://doi.org/10.3390/s19163542>
32. Handford C, Reeves F, Parker P. Prospective use of unmanned aerial vehicles for military medical evacuation in future conflicts. *J R Army Med Corps.* 2018;164(4):293–296. PMID: 29523753 <https://doi.org/10.1136/jramc-2017-000890>
33. Lu J, Wang X, Chen L, Sun X, Li R, Zhong W, et al. Unmanned aerial vehicle based intelligent triage system in mass-casualty incidents using 5G and artificial intelligence. *World J Emerg Med.* 2023;14(4):273–279. PMID: 37425090 <https://doi.org/10.5847/wjem.j.1920-8642.2023.066>
34. Jain T, Sibley A, Stryhn H, Hublout I. Comparison of unmanned aerial vehicle technology-assisted triage versus, standard practice in triaging casualties by paramedic students in a mass-casualty incident scenario. *Prehosp Disaster Med.* 2018;33(4):375–380. PMID: 30001765 <https://doi.org/10.1017/S1049023X18000559>
35. Meshcheryakov RV, Trefilov PM, Chekhov AV, Diane SAK, Rusakov KD, Lesiv EA, et al. An application of swarm of quadcopters for searching operations. *IFAC-PapersOnLine.* 2019;52(25):14–18. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.438>
36. Alotaibi ET, Alqefari SS, Koubaa A. LSAR: Multi-UAV collaboration for search and rescue missions. *IEEE Access.* 2019;7:55817–55832. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2912306>
37. Abrahamsen HB. A remotely piloted aircraft system in major incident management: concept and pilot, feasibility study. *BMC Emerg Med.* 2015;15:12. <https://doi.org/10.1186/s12873-015-0036-3>
38. Roberts NB, Ager A, Leith T, Lott I, Mason-Maready M, Nix T, et al. Current summary of the evidence in drone-based emergency medical services care. *Resusc Plus.* 2023;13:100347. PMID: 36654723 <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2022.100347> eCollection 2023 Mar.
39. Bogle B, Rosamond WD, Snyder KT, Z gre-Hemsey JK. The case for drone-assisted emergency response to cardiac arrest: an optimized statewide deployment approach. *N C Med J.* 2019;80(4):204–212. PMID: 31278178 <https://doi.org/10.18043/ncm.80.4.204>
40. Banerjee P, Ganti L, Stead TG, Vera AE, Vittone R, Pepe PE. Every one-minute delay in EMS on-scene resuscitation after out-of-hospital pediatric cardiac arrest lowers ROSC by 5%. *Resusc Plus.* 2021;5:100062. PMID: 34223334 <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2020.100062> eCollection 2021 Mar.
41. Lim JCL, Loh N, Lam HH, Lee JW, Liu N, Yeo JW, et al. The Role of Drones in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Scoping Review. *J Clin Med.* 2022;11(19):5744. PMID: 36233610 <https://doi.org/10.3390/jcm11195744>
42. Cheskes S, McLeod SL, Nolan M, Snobelen P, Vaillancourt C, Brooks SC, et al. Improving Access to Automated External Defibrillators in Rural and Remote Settings: A Drone Delivery Feasibility Study. *J Am Heart Assoc.* 2020;9(14):e016687. PMID: 32627636 <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.016687>
43. Ryan JP. The feasibility of medical unmanned aerial systems in suburban areas. *Am J Emerg Med.* 2021;50:532–545. PMID: 34543836 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2021.08.064>
44. Robakowska M, S zak D, Żuratyński P, Tyrańska-Fobke A, Robakowski P, Pr dkiewicz P, et al. Possibilities of Using UAVs in Pre-Hospital Security for Medical Emergencies. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(17):10754. PMID: 36078469 <https://doi.org/10.3390/ijerph191710754>
45. Mao R, Du B, Sun D, Kong N. Optimizing a UAV-based emergency medical service network for trauma injury patients. In: *IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, (Vancouver, BC, Canada, 22–26 August 2019). Vancouver; 2019. p. 721–726. <https://doi.org/10.1109/COASE.2019.8843158>
46. Fischer P, Rohrer U, Nürnberger P, Manninger M, Scherr D, von Lewinski D, et al. Automated external defibrillator delivery bydrone in mountainous regions to support basic life support – A simulation study. *Resusc Plus.* 2023;14:100384. PMID: 37091925 <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2023.100384> eCollection 2023 Jun.
47. Homier V, Brouard D, Nolan M, Roy M-A, Pelletier P, McDonald M, et al. Drone versus ground delivery of simulated blood products to an urban trauma center: The Montreal Medi-Drone pilot study. *J Trauma Acute Care Surg.* 2020;90(3):515–521. PMID: 33017356 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002961>
48. Scalea JR, Restaino S, Scassero M, Blankenship G, Bartlett ST, Wereley N. An Initial Investigation of Unmanned Aircraft Systems (UAS) and Real-Time Organ Status Measurement for Transporting Human Organs. *IEEE J Transl Eng Health Med.* 2018;6:4000107. PMID: 30464862 <https://doi.org/10.1109/TEHM.2018.2875704> eCollection 2018.
49. Yakushiji K, Fujita H, Murata M, Hiroi N, Hamabe Y, Yakushiji F. Short-range transportation using unmanned aerial vehicles (UAVs) during disasters in Japan. *Drones.* 2020;4(4):68. <https://doi.org/10.3390/drones4040068>
50. Kumar A, Sharma K, Singh H, Naugriya SG, Gill SS, Buyya R. A drone-based networked system and methods for combating coronavirus disease (COVID-19) pandemic. *Future Gener Comput Syst.* 2021;115:1–19. PMID: 32895585 <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.08.046>
51. Tejavivaddhana P, Suriyawongpaisal W, Kasemsup V, Sukaroj T. The roles of village health volunteers: COVID-19 prevention and control in Thailand. *Asia Pacific Journal of Health Management.* 2020;15(3):18–22. <https://doi.org/10.24083/apjhm.v15i3.477>
52. Chamola V, Hassija V, Gupta V, Guizani M. A comprehensive review of the COVID-19 pandemic and the role of IoT, drones, AI, blockchain, and 5G in managing its impact. *IEEE Access.* 2020;8:90225–90265. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992341>
53. Kotlinski M, Calkowska JK. U-Space and UTM Deployment as an Opportunity for More Complex UAV Operations Including UAV Medical Transport. *J Intell Robot Syst.* 2022;106(1):12. PMID: 36039343 <https://doi.org/10.1007/s10846-022-01681-6>
54. Vatananan-Thesenvitz R, Schaller A-A, Shannon RA. Bibbometric review of the knowledge base for innovation in sustainable development.

- Sustainability*. 2019;11(20):5783–5805. <https://doi.org/10.3390/su11205783>
55. Boedecker H. The 2021 Drone Regulation-What is new? What is planned? *Drone Market* 2021. URL: <https://droneii.com/the-2021-drone-regulation-what-is-new-what-is-planned>
 56. Lin CF, Lin TJ, Liao WS, Lan H, Lin JY, Chin CH, et al. Solar power can substantially prolong maximum achievable airtime of quadcopter drones. *Adv Sci (Weinh)*. 2020;7(20):2001497. PMID: 33101858 <https://doi.org/10.1002/adv.202001497> eCollection 2020 Oct.
- ## REFERENCES
1. Prikaz Ministerstva zdoravookhraneniya RF ot 20 iyunya 2013 g. No 388n "Ob utverzhdenii Poryadka okazaniya skoroy, v tom chisle skoroy spetsializirovannoy, meditsinskoy pomoshchi" (s izmeneniyami i dopolneniyami). (In Russ.) Available at: <https://base.garant.ru/70438200/?ysclid=lnq0f3wlm0816266597> [Accessed Aug 20, 2024]
 2. Sharipov AM, Safarov ZF. Problems of Modern Pre-Hospital Care and Disaster Medicine. *Herald of the National Children's Medical Center*. 2022;(2):91–95. (In Russ.)
 3. Kompleksnoe nablyudenie usloviy zhizni naseleniya. Itogi nablyudeniya. Statisticheskie tablitsy. Rosstat. 2018. Tablitsy 34.1-Poluchenie skoroy meditsinskoy pomoshchi; 34.1.1-Poluchenie skoroy meditsinskoy pomoshchi litsami starshe trudospособного vozrasta. Available at: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/KOUZ18/index.html [Accessed Aug 20, 2024]
 4. Kolesnikov AV, Breusov AV, Shichanin VV, Breusov RA. The Satisfaction of the Population of the Region the Quality of the Ambulance Service. *RUDN Journal of Medicine*. 2017;21(1):109–116. (In Russ.). <https://doi.org/10.22363/2313-0245-2017-21-1-109-116>
 5. Nimilan V, Manohar G, Sudha R, Pearley S. Drone-aid: An aerial medical assistance. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*. 2019;8(11 Suppl):1288–1292. <https://doi.org/10.35940/ijitee.K1260.09811S19>
 6. Pulsiri N, Vatananan-Thesenvilz R. Drones in Emergency Medical Services: A Systematic Literature Review with Bibliometric Analysis. *International Journal of Innovation and Technology Management*. 2021;18(4):2097001. <https://doi.org/10.1142/S0219877020970019>
 7. Konnova LA, Bonchuk GI. Ob istorii bespilotnykh letatel'nykh apparatov i perspektivakh ikh ispol'zovaniya v praktike spasatel'nykh rabot. Rossiyskie bespilotniki. 2018. (In Russ.) Available at: <https://russiandrone.ru/publications/ob-istorii-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-i-perspektivakh-ikh-ispolzovaniya-v-praktike-spasatelnykh> [Accessed Aug 20, 2024]
 8. Schaller A-A, Vatananan-Thesenvilz R, Pulsiri N, Schaller A-M. The Rise of digital business models: An Analysis of the knowledge base. In: *2019 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, (Portland, 25-29 August 2019). Portland, OR, USA; 2019. pp. 609–621. <https://doi.org/10.23919/picmet.2019.8893696>
 9. Mairaj A, Baba A, Javid A. Application specific drone simulators; Recent advances and challenges. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2019;94(4):100–117. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.01.004>
 10. Rosser JB Jr, Parker BC, Vignesh V. Medical Applications of Drones for Disaster Relief: A Review of the Literature. *Surg Technol Int*. 2018;33:17–22. PMID: 30384393
 11. Rosser JC Jr, Vignesh V, Terwilliger BA, Parker BC. Surgical and Medical Applications of Drones: A Comprehensive Review. *JSLs*. 2018;22(3):e2018.00018. PMID: 30356360 <https://doi.org/10.4293/JSLs.2018.00018>
 12. Johnson AM, Cunningham CJ, Arnold E, Rosamond WD, Zègre-Hemsey JK. Impact of Using Drones in Emergency Medicine: What Does the Future Hold? *Open Access Emerg Med*. 2021;13:487–498. PMID: 34815722 <https://doi.org/10.2147/OAEM.S247020> eCollection 2021.
 13. Straubinger A, Michelmann J, Biehle T. Business model options for passenger urban air mobility. *CEAS Aeronaut J*. 2021;12(2):361–380. PMID: 33868510 <https://doi.org/10.1007/s13272-021-00514-w>
 14. Ferrão IG, Espes D, Dezan C, Branco KR. Security and Safety Concerns in Air Taxis: A Systematic Literature Review. *Sensors (Basel)*. 2022;22(18):6875. PMID: 36146224 <https://doi.org/10.3390/s22186875>
 15. Ploetner KO, Al Haddad C, Antoniou C, Frank F, Fu M, Kabel S, et al. Long-term application potential of urban air mobility complementing public transport: an upper Bavaria example. *CEAS Aeronaut J*. 2020;11(4):991–1007. PMID: 33403052 <https://doi.org/10.1007/s13272-020-00468-5>
 16. Feldhoff E, Soares Roque G. Determining infrastructure requirements for an air taxi service at Cologne Bonn Airport. *CEAS Aeronaut J*. 2021;12(4):821–833. PMID: 34466167 <https://doi.org/10.1007/s13272-021-00544-4>
 17. Birrell S, Payne W, Zdanowicz K, Herriotts P. Urban air mobility infrastructure design: Using virtual reality to capture user experience within the world's first urban airport. *Appl Ergon*. 2022;105:103843. PMID: 35810501 <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103843>
 18. Rajendran S, Pagel E. Recommendations for emerging air taxi network operations based on online review analysis of helicopter services. *Heliyon*. 2020;6(12):e05581. PMID: 33305048 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05581> eCollection 2020 Dec.
 19. Li T, Hu H. Development of the Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Emergency Rescue in China. *Risk Manag Healthc Policy*. 2021;14:4293–4299. PMID: 34703340 <https://doi.org/10.2147/RMHP.S323727> eCollection 2021.
 20. Mohd Daud SMS, Mohd Yusof MYP, Heo CC, Khoo LS, Chainchel Singh MK, Mahmood MS, et al. Applications of drone in disaster management: A scoping review. *Sci Justice*. 2022;62(1):30–42. PMID: 35033326 <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.11.002>
 21. Gross RJ. Complete evolution and history of drones: from 1800s to 2022. Available at: <https://www.propelrc.com/history-of-drones/> [Accessed 20.08.2024]
 22. Oh D, Han J. Smart Search System of Autonomous Flight UAVs for Disaster Rescue. *Sensors (Basel)*. 2021;21(20):6810. PMID: 34696023 <https://doi.org/10.3390/s21206810>
 23. Seguin C, Blaquièrre G, Loundou A, Michelet P, Markarian T. Unmanned aerial vehicles (drones) to prevent drowning. *Resuscitation*. 2018;127:63–67. PMID: 29653153 <https://doi.org/10.1016/j.resuscitati.2018.04.005>
 24. Kim ML, Pevzner LD, Temkin IO. Development of automatic system for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) motion control for mine conditions. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(3):203–210. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-203-210>
 25. Karaca Y, Cicek M, Tatli O, Sahin A, Pasli S, Beser MF, et al. The potential use of unmanned aircraft systems (drones) in mountain search and rescue operations. *Am J Emerg Med*. 2018;36(4):583–588. PMID: 28928001 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.09.025>
 26. Cappello TD, Masè M, Falla M, Regli IB, Mejia-Aguilar A, Mayrgündter S, et al. Drones reduce the treatment-free interval in search and rescue operations with telemedical support – A randomized controlled trial. *Am J Emerg Med*. 2023;66:40–44. PMID: 36680868 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2023.01.020>
 27. van Veelen MJ, Voegelé A, Rauch S, Kaufmann M, Brugger H, Strapazzon G. COVID-19 Pandemic in Mountainous Areas: Impact, Mitigation Strategies, and New Technologies in Search and Rescue Operations. *High Alt Med Biol*. 2021;22(3):335–341. PMID: 34319777 <https://doi.org/10.1089/ham.2020.0216>
 28. Braun J, Gertz SD, Furer A, Bader T, Frenkel H, Chen J, et al. The promising future of drones in prehospital medical care and its application to battlefield medicine. *J Trauma Acute Care Surg*. 2019;87(1S Suppl 1):S28–S34. PMID: 31246903 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002221>
 29. Yamazaki Y, Premachandra C, Perea CJ. Audio-Processing-Based human detection at disaster sites with unmanned aerial vehicle. *IEEE Access*. 2020;8:101398–101405. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998776>
 30. Al-Naji A, Perera AG, Mohammed SL, Chahl J. Life Signs Detector Using a Drone in Disaster Zones. *Remote Sensing*. 2019;11(20):2441. <https://doi.org/10.3390/rs11202441>
 31. Lygouras E, Santavas N, Taitzoglou A, Tarchanidis K, Mitropoulos A, Gasteratos A. Unsupervised Human Detection with an Embedded Vision System on a Fully Autonomous UAV for Search and Rescue Operations. *Sensors (Basel)*. 2019;19(16):3542. PMID: 31416131 <https://doi.org/10.3390/s19163542>
 32. Handford C, Reeves F, Parker P. Prospective use of unmanned aerial vehicles for military medical evacuation in future conflicts. *J R Army Med Corps*. 2018;164(4):293–296. PMID: 29523753 <https://doi.org/10.1136/jramc-2017-000890>
 33. Lu J, Wang X, Chen L, Sun X, Li R, Zhong W, et al. Unmanned aerial vehicle based intelligent triage system in mass-casualty incidents using 5G and artificial intelligence. *World J Emerg Med*. 2023;14(4):273–279. PMID: 37425090 <https://doi.org/10.5847/wjem.j.1920-8642.2023.066>
 34. Jain T, Sibley A, Stryhn H, Hublourc I. Comparison of unmanned aerial vehicle technology-assisted triage versus, standard practice in triaging casualties by paramedic students in a mass-casualty incident scenario. *Prehosp Disaster Med*. 2018;33(4):375–380. PMID: 30001765 <https://doi.org/10.1017/S1049023X18000559>
 35. Meshcheryakov RV, Trefilov PM, Chekhov AV, Diane SAK, Rusakov KD, Lesiv EA, et al. An application of swarm of quadcopters for searching operations. *IFAC-PapersOnLine*. 2019;52(25):14–18. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.438>
 36. Alotaibi ET, Alqefari SS, Koubaa A. LSAR: Multi-UAV collaboration for search and rescue missions. *IEEE Acces*. 2019;7:55817–55832. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2912306>

37. Abrahamsen HB. A remotely piloted aircraft system in major incident management: concept and pilot, feasibility study. *BMC Emerg Med.* 2015;15:12. <https://doi.org/10.1186/s12873-015-0036-3>
38. Roberts NB, Ager A, Leith T, Lott I, Mason-Maready M, Nix T, et al. Current summary of the evidence in drone-based emergency medical services care. *Resusc Plus.* 2023;13:100347. PMID: 36654723 <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2022.100347> eCollection 2023 Mar.
39. Bogle B, Rosamond WD, Snyder KT, Zègre-Hemsey JK. The case for drone-assisted emergency response to cardiac arrest: an optimized statewide deployment approach. *N C Med J.* 2019;80(4):204–212. PMID: 31278178 <https://doi.org/10.18043/ncm.80.4.204>
40. Banerjee P, Ganti L, Stead TG, Vera AE, Vittone R, Pepe PE. Every one-minute delay in EMS on-scene resuscitation after out-of-hospital pediatric cardiac arrest lowers ROSC by 5%. *Resusc Plus.* 2021;5:100062. PMID: 34223334 <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2020.100062> eCollection 2021 Mar.
41. Lim JCL, Loh N, Lam HH, Lee JW, Liu N, Yeo JW, et al. The Role of Drones in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Scoping Review. *J Clin Med.* 2022;11(19):5744. PMID: 36233610 <https://doi.org/10.3390/jcm11195744>
42. Cheskes S, McLeod SL, Nolan M, Snobelen P, Vaillancourt C, Brooks SC, et al. Improving Access to Automated External Defibrillators in Rural and Remote Settings: A Drone Delivery Feasibility Study. *J Am Heart Assoc.* 2020;9(14):e016687. PMID: 32627636 <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.016687>
43. Ryan JP. The feasibility of medical unmanned aerial systems in suburban areas. *Am J Emerg Med.* 2021;50:532–545. PMID: 34543836 <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2021.08.064>
44. Robakowska M, Słezak D, Żuratyński P, Tyrańska-Fobke A, Robakowski P, Prędkiewicz P, et al. Possibilities of Using UAVs in Pre-Hospital Security for Medical Emergencies. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(17):10754. PMID: 36078469 <https://doi.org/10.3390/ijerph191710754>
45. Mao R, Du B, Sun D, Kong N. Optimizing a UAV-based emergency medical service network for trauma injury patients. In: *IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, (Vancouver, BC, Canada, 22–26 August 2019). Vancouver; 2019. p. 721–726. <https://doi.org/10.1109/COASE.2019.8843138>
46. Fischer P, Rohrer U, Nürnberger P, Manninger M, Scherr D, von Lewinski D, et al. Automated external defibrillator delivery by drone in mountainous regions to support basic life support – A simulation study. *Resusc Plus.* 2023;14:100384. PMID: 37091925 <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2023.100384> eCollection 2023 Jun.
47. Homier V, Brouard D, Nolan M, Roy M-A, Pelletier P, McDonald M, et al. Drone versus ground delivery of simulated blood products to an urban trauma center: The Montreal Medi-Drone pilot study. *J Trauma Acute Care Surg.* 2020;90(3):515–521. PMID: 33017356 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002961>
48. Scalea JR, Restaino S, Scassero M, Blankenship G, Bartlett ST, Wereley N. An Initial Investigation of Unmanned Aircraft Systems (UAS) and Real-Time Organ Status Measurement for Transporting Human Organs. *IEEE J Transl Eng Health Med.* 2018;6:4000107. PMID: 30464862 <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2018.2875704> eCollection 2018.
49. Yakushiji K, Fujita H, Murata M, Hiroi N, Hamabe Y, Yakushiji F. Short-range transportation using unmanned aerial vehicles (UAVs) during disasters in Japan. *Drones.* 2020;4(4):68. <https://doi.org/10.3390/drones4040068>
50. Kumar A, Sharma K, Singh H, Naugriya SG, Gill SS, Buyya R. A drone-based networked system and methods for combating coronavirus disease (COVID-19) pandemic. *Future Gener Comput Syst.* 2021;115:1–19. PMID: 32895585 <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.08.046>
51. Tejavataddbana P, Suriyawongpaisal W, Kasemsup V, Suksaroj T. The roles of village health volunteers: COVID-19 prevention and control in Thailand. *Asia Pacific Journal of Health Management.* 2020;15(3):18–22. <https://doi.org/10.24083/apjhm.v15i3.477>
52. Chamola V, Hassija V, Gupta V, Guizani M. A comprehensive review of the COVID-19 pandemic and the role of IoT, drones, AI, blockchain, and 5G in managing its impact. *IEEE Access.* 2020;8:90225–90265. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2992341>
53. Kotlinski M, Calkowska JK. U-Space and UTM Deployment as an Opportunity for More Complex UAV Operations Including UAV Medical Transport. *J Intell Robot Syst.* 2022;106(1):12. PMID: 36039343 <https://doi.org/10.1007/s10846-022-01681-6>
54. Vatananan-Thesenvitz R, Schaller A-A, Shannon RA. Bibbometric review of the knowledge base for innovation in sustainable development. *Sustainability.* 2019;11(20):5783–5805. <https://doi.org/10.3390/su11205783>
55. Boedecker H. The 2021 Drone Regulation-What is new? What is planned? *Drone Market 2021.* URL: <https://droneii.com/the-2021-drone-regulation-what-is-new-what-is-planned>
56. Lin CF, Lin TJ, Liao WS, Lan H, Lin JY, Chin CH, et al. Solar power can substantially prolong maximum achievable airtime of quadcopter drones. *Adv Sci (Weinh).* 2020;7(20):2001497. PMID: 33101858 <https://doi.org/10.1002/adv.202001497> eCollection 2020 Oct.
57. Basheer AA. Advances in the smart materials applications in the aerospace industries. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology.* 2020;92(7):1027–1035. <https://doi.org/10.1108/aeat-02-2020-0040>
58. Fattakhov MR, Kireev AV, Kleshch VS. The market of unmanned aircraft systems in Russia: status and characteristics of functioning in the macroeconomic environment of 2022. *Russian Journal of Innovation Economics.* 2022;12(4):2507–2528. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/vinec.12.4.116912>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Писаренко Леонид Васильевич

доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник научного отдела организации экстренной медицинской помощи ГБУЗ особого типа МТНПЦМК (ЦЕМП) ДЗМ; <https://orcid.org/0000-0002-6045-9329>, p8060@bk.ru;

40%: разработка концепции: идея, формулировка или развитие ключевых целей и задач; проведение исследований и сбор данных; подготовка первоначального проекта; проверка, репликация, воспроизведение результатов и другие действия

Гуменюк Сергей Андреевич

доктор медицинских наук, доцент, директор ГБУЗ особого типа МТНПЦМК (ЦЕМП) ДЗМ; <https://orcid.org/0000-0002-4172-8263>, semp75@yandex.ru;

30%: разработка методологии, создание моделей; управление, координация, планирование и проведение научной работы

Потапов Владимир Игоревич

доктор медицинских наук, заведующий научным отделом организации экстренной медицинской помощи ГБУЗ особого типа МТНПЦМК (ЦЕМП) ДЗМ; <https://orcid.org/0000-0001-8806-0320>, potapof48@mail.ru;

30%: проведение исследований и сбор данных; применение статистических, математических, или других формальных методов для анализа и синтеза данных исследования

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

On the Possibilities and Significance of Unmanned Aerial Vehicles for the Pre-Hospital Stage of Medical Care

L.V. Pisarenko ✉, **S.A. Gumenyuk**, **V.I. Potapov**

Scientific Department of Organization of Emergency Medical Care
Moscow Territorial Scientific and Practical Center for Disaster Medicine
Bolshaya Sukharevskaya Sq. 5/1, p. 1, Moscow, Russian Federation 129010

✉ **Contacts:** Leonid V. Pisarenko, Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Leading Researcher, Scientific Department of Organization of Emergency Medical Care, Moscow Territorial Scientific and Practical Center for Disaster Medicine. Email: p8060@bk.ru

ABSTRACT Unmanned aerial vehicles are an important force in search and rescue operations. They help reduce the time needed to search for and provide assistance to the wounded, sick and injured who are located at a large territorial distance and in hard-to-reach places. With the help of computer "vision" and sensors such as noise sensing, binary sensing, vibration and thermal sensing, drones are able to search for living patients not only in the sea, high in the mountains and in mines, but also buried under the rubble of buildings and structures. Such devices demonstrate advantages in emergency and urgent delivery of medical resuscitation and other medical equipment, medicines, blood products and organs for transplantation to patients, especially those in remote locations. With the help of drones, it is possible to effectively sort patients in case of mass sanitary losses, carry out disinfection and remotely monitor the health status of patients with highly contagious infectious diseases and other pathological conditions, as well as reduce the time for providing other medical and humanitarian services to the population. It is obvious that the use of drones requires further study of their promising capabilities, especially in the actual conditions of emergency medical services.

Keywords: unmanned aerial vehicles, drones, pre-hospital stage, search and rescue operations, emergency and emergency medical care

For citation Pisarenko LV, Gumenyuk SA, Potapov VI. On the Possibilities and Significance of Unmanned Aerial Vehicles for the Pre-Hospital Stage of Medical Care. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2024;13(3):501–513. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2024-13-3-501-513> (in Russ.)

Conflict of interest Authors declare no conflicts of interests

Acknowledgments, sponsorship The study has no sponsorship

Affiliations

Leonid V. Pisarenko	Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Leading Researcher, Scientific Department of Organization of Emergency Medical Care, Moscow Territorial Scientific and Practical Center for Disaster Medicine; https://orcid.org/0000-0002-6045-9329 , p8060@bk.ru; 40%, concept development: ideas, formulating or developing key goals and objectives; conducting research and collecting data; preparation of the initial draft; verification, replication, reproduction of results and other actions
Sergey A. Gumenyuk	Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Director, Moscow Territorial Scientific and Practical Center for Disaster Medicine; https://orcid.org/0000-0002-4172-8263 , cemp75@yandex.ru; 30%, development of methodology, creation of models; management, coordination, planning and conducting of the research
Vladimir I. Potapov	Doctor of Medical Sciences, Head, Scientific Department of Organization of Emergency Medical Care, Moscow Territorial Scientific and Practical Center for Disaster Medicine; https://orcid.org/0000-0001-8806-0320 , potapof48@mail.ru; 30%, conducting research and collecting data; application of statistical, mathematical, or other formal methods for analysis and synthesis of research data

Received on 10.11.2023

Review completed on 22.02.2024

Accepted on 05.06.2024

Поступила в редакцию 10.11.2023

Рецензирование завершено 22.02.2024

Принята к печати 05.06.2024