

О.Н. Бодин¹, К.А. Ожикенов², А.К. Ожикенова²,
А.С. Сергеенков¹, С.А. Усембаева²

Концепция оказания экстренной медицинской помощи пострадавшим в чрезвычайных ситуациях

¹Пензенский государственный университет, Пенза

²Казахский национальный технический университет, Алматы

Резюме. Предложен подход к решению проблемы оказания экстренной медицинской помощи пострадавшим в чрезвычайных ситуациях на основе беспилотных летательных аппаратов (квадрокоптеров) медицинского назначения и медицинской информационно-аналитической системы. Обоснованы принципы оказания экстренной медицинской помощи данной категории пострадавших, алгоритм функционирования медицинской информационно-аналитической системы и требования к квадрокоптерам медицинского назначения. Сохранение жизни и здоровья населения при ликвидации медико-санитарных последствий чрезвычайных ситуаций является важнейшей государственной задачей. Успешное решение данной задачи во многом зависит от знания особенностей чрезвычайных ситуаций, возникающих в результате разнообразных, иногда трудно прогнозируемых факторов. Это накладывает большую ответственность, прежде всего, на службу медицины катастроф при осуществлении лечебно-эвакуационного обеспечения пораженных в очагах бедствий и катастроф. Показано, что для перехода на качественно новый уровень оказания экстренной медицинской помощи пострадавшим в чрезвычайных ситуациях необходимо развитие теоретических положений, обосновывающих её повышение; наличие математических моделей, позволяющих прогнозировать последствия чрезвычайных ситуаций и описывать функциональное состояние пострадавших, наглядно представлять обстановку в чрезвычайной ситуации; совершенствование средств оказания экстренной медицинской помощи. Установлено, что в основе концепции оказания экстренной медицинской помощи должны лежать принципы «золотого часа», не навреди пострадавшему, моделирование и визуализации. Предлагаемый подход позволяет сократить временные рамки оказания медицинской помощи и значительно повысить вероятность оказания медицинской помощи в течении «золотого часа». Оптимизация сроков оказания экстренной медицинской помощи является определяющим показателем эффективности работы здравоохранения в чрезвычайных ситуациях. Разработка более совершенных способов и алгоритмов оказания экстренной медицинской помощи является одной из наиболее актуальных задач развития медицины катастроф.

Ключевые слова: экстренная медицинская помощь, «золотой час», медицина катастроф, медицинская информационно-аналитическая система, квадрокоптер, чрезвычайная ситуация, лечебно-эвакуационное обеспечение, медико-санитарные последствия.

Введение. Развернувшаяся в XX в. беспрецедентная по масштабам инженерная деятельность и вызванные ею изменения природной сферы резко увеличили возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного и природно-техногенного характера. Наиболее трагичной стороной катастроф является гибель людей. В связи с этим принципиально большое значение имеет организация ликвидации медицинских последствий ЧС и научного обоснования деятельности медицины катастроф. Катастрофы, которые произошли в последние годы в мире, показали недостаточную подготовленность системы здравоохранения к оказанию экстренной медицинской помощи (ЭМП) [10]. Существует проблема организации ликвидации медицинских последствий ЧС и оказания ЭМП пострадавшим.

Сложный, многоуровневый и гетерогенный механизм организации ликвидации медицинских последствий ЧС, основанный на взаимодействии множества различных компонентов, определяет необходимость комплексного междисциплинарного подхода к решению проблемы оказания ЭМП пострадавшим. Послед-

ние достижения в медицине, биофизике, электрохимии, физиологии, электронике, робототехнике, вычислительной технике и математике используются при решении данной проблемы.

Цель исследования. Разработка концепции оказания ЭМП на основе беспилотных летательных аппаратов (квадрокоптеров) медицинского назначения (КМН) и медицинской информационно-аналитической системы (МИАС), позволяющей повысить эффективность ЭМП.

Материалы и методы. Теоретическую и методологическую основу исследований составили труды в области организации здравоохранения, медицины катастроф и ликвидации медицинских последствий чрезвычайных ситуаций [8, 10, 16, 17]. В ходе исследований проанализированы законы, инструкции и методические указания ликвидации медицинских последствий чрезвычайных ситуаций [12, 13, 14].

При проведении исследований использовались методы системного анализа.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что основным условием успешного оказания ЭМП является её своевременность. Ранее нами [4] была предложена модель принятия оптимального решения об очередности оказания медицинской помощи в ЧС. В рамках модели осуществляется: мониторинг пострадавших, медицинская сортировка и корректировка очередности оказания ЭМП по результатам оценки функционального состояния организма (ФСО) пострадавших. При этом средства оказания ЭМП представляют собой мобильные телемедицинские комплексы (МТМК), размещенные на шасси автомобиля повышенной проходимости. Недостатками МТМК, реализованных на транспортном средстве, являются: долгое время разворачивания; необходимость наличия подготовленной территории для разворачивания; невозможность оказания по прибытию немедленной ЭМП.

Для устранения указанных недостатков и перехода на качественно новый уровень оказания ЭМП необходимо:

- развитие теоретических положений, направленных на повышение эффективности ЭМП;
- наличие математических моделей, позволяющих прогнозировать последствия ЧС, описывать ФСО пострадавших и наглядно представлять окружающую МТМК обстановку;
- совершенствование средств оказания ЭМП.

В основе концепции оказания ЭМП, по нашему мнению, должны лежать следующие принципы: «золотого часа», «не навреди пострадавшему», моделирования и визуализации.

В медицине катастроф существует понятие «золотой час» – это время, в течение которого оказанная медицинская помощь на месте, либо оперативная доставка пострадавшего в стационар гарантирует ему максимальные шансы выжить и наименьший риск осложнений после травм. Человеческий организм, попадая в экстремальную ситуацию, реагирует моментально включением компенсаторных и защитных механизмов, причем на максимальном уровне, для того чтобы поддержать жизнедеятельность хотя бы в течение часа. Потом начинает уменьшаться кровенаполнение главных органов: сердца и мозга, при этом шансы врачей спасти пострадавшего резко уменьшаются [8].

Оптимальный срок оказания ЭМП – до 30 мин после получения травмы. При остановке дыхания это время сокращается до 5–10 мин. Важность фактора времени подчеркивается тем, что среди лиц, получивших ЭМП в течение первых 30 мин после травмы, осложнения возникают в 2 раза реже, чем у лиц, которым она была оказана позже. По данным Всемирной организации здравоохранения каждый 20-й из 100 погибших в результате несчастных случаев в мирное время могли быть спасены, если бы ЭМП им была оказана на месте происшествия. Своевременно оказанная медицинская помощь имеет решающее значение для сохранения жизни и здоровья пострадавших, снижения инвалидности и летальности.

В настоящее время резко возросла нагрузка на врачей-спасателей, которым приходится действовать

в условиях дефицита времени, ограниченной точности и достоверности информации, что может привести к принятию нерациональных и даже ошибочных решений, а, следовательно, и к большим потерям. Цена ошибки может составлять человеческую жизнь.

Для преодоления возможного «аналитического паралича» при создании и переработке огромного количества информации с помощью сервисных компьютерных технологий необходимо создать такие условия врачу-спасателю, при которых он максимально концентрировался бы на постановке диагноза и оказании ЭМП, и принимал бы минимальное участие в принятии решения менее приоритетных задач анализа и переработки информации. Компьютерная диагностика ФСО пострадавшего рассматривается как расширение возможностей врача при обработке диагностической информации. Все ресурсы медицинской информационно-аналитической системы (МИАС) находятся в распоряжении врача. Основной принцип компьютерной диагностики ФСО пострадавшего можно сформулировать так: помочь врачу-спасателю, не навредить пострадавшему.

После оценки ЧС и проведения медицинской сортировки моделирование развития ЧС и ФСО пострадавших позволит скорректировать очередность оказания ЭМП в условиях дефицита медицинских сил в очаге ЧС.

Основным свойством и характерным признаком модели является то, что она способна замещать объект на определенных этапах и давать при исследовании информацию о нем. Разработка математической модели (ММ), «подходящей» для решения задачи, является наиболее сложной задачей [7]. Для всестороннего описания в ММ объекта должно быть задано три основных множества: значения входных и выходных величин и переменных состояния объекта. Критериями выбора ММ являются: адекватность, минимум энтропии и дисперсии. Для своевременного оказания ЭМП необходимо наличие в МИАС математических моделей, позволяющих прогнозировать последствия ЧС и моделировать ФСО пострадавших. При этом проблема снижения медицинских последствий ЧС принимает количественный характер и требует для своего решения применения методов моделирования и прогнозирования как природных и техногенных опасностей, так и ФСО пострадавших.

Существует много моделей, описывающих процесс ликвидации последствий ЧС [12, 15]. Выбор конкретной модели определяется характером исследуемой ЧС и не всегда решение соответствующих систем уравнений можно получить в аналитическом виде. Поэтому разработка методов декомпозиции моделей, ориентированных на численное решение формулируемых задач, остаётся одним из ключевых направлений исследований. Особую актуальность эти подходы приобретают при решении таких системных задач, как анализ и синтез систем управления в условиях ликвидации медицинских последствий ЧС.

Ликвидация медицинских последствий ЧС невозможна без моделирования и прогнозирования ФСО пострадавших. Существующие математические модели ФСО человека адекватно описывают состояние человека [2].

В настоящее время проект по созданию виртуального физиологического человека (virtual physiological human – VPH) объединяет усилия ученых мирового сообщества по компьютерному моделированию работы органов человека [1]. Для оказания помощи врачу-спасателю в профессиональной деятельности целесообразным представляется создание полуавтоматических систем, предполагающих участие врача-спасателя в принятии решения. При этом автоматической обработке должны подвергаться общедоступные и известные данные и знания, которые поддаются общепринятой формализации. В ходе автоматической обработки возможно выявление определенных, ранее неизвестных связей между объектами, что может трактоваться как получение нового знания.

Визуализация процесса оказания ЭМП обеспечивает удобное восприятие результатов обрабатываемых данных и облегчает принятие решения [11]. Ю.Н. Косников [9] указывает на то, что 90% информации человек воспринимает через зрение, 70% сенсорных рецепторов находятся в глазах, около половины нейронов головного мозга человека задействованы в обработке визуальной информации, на 19% меньше при работе с визуальными данными используется когнитивная функция мозга, отвечающая за обработку и анализ информации, на 17% выше производительность человека, работающего с визуальной информацией, на 4,5% лучше вспоминаются подробные детали визуальной информации.

Совершенно очевидно, что без использования МИАС и КМН реализация принципов концепции оказания ЭМП невозможно. Современные МТМК должны быть оснащены незаменимыми средствами оказания ЭМП. Именно синергетический эффект от объединения в МТМК возможностей КМН и МИАС с математическими моделями ликвидации последствий ЧС и моделирования ФСО пострадавших, позволит повысить эффективность ЭМП.

В рамках предлагаемой концепции оказания ЭМП осуществляется: регистрация местоположения ЧС; прибытие квадрокоптера на место ЧС; поиск и фиксация GPS-координат пострадавших; оценка ФСО и медицинская сортировка пострадавших; прибытие бригады МТМК на место ЧС и корректировка очередности по результатам оценки ФСО пострадавших; оказание ЭМП бригадой МТМК, эвакуация и госпитализация пострадавших.

Для реализации концепции оказания ЭМП на основе КМН и МИАС необходимо рассмотреть особенности КМН.

Беспилотным летательным аппаратом МТМК является КМН, который представляет собой один из видов мультикоптера с четырьмя несущими моторами, расположенными попарно симметрично относительно геометрического центра и электрической силовой установкой [6]. КМН является летательным аппаратом вертикального взлета, во время полета может перемещаться в любом направлении, поддерживая, при этом горизонтальное положение относительно земли, также может парить на одном месте, вращаясь относительно своей вертикальной оси. Он способен самостоятельно летать по GPS-координатам. С по-

лезной нагрузкой до 3 кг он развивают скорость до 70 км/час [6]. К преимуществам КМН можно отнести компактность, небольшую массу, невысокую стоимость, а также простоту сборки и настройки. Полагаем, что именно КМН способен обеспечить своевременность, мобильность и оперативность за счет быстроты прибытия и возможности немедленного оказания ЭМП.

Вылет КМН на место ЧС осуществляется сразу после поступления сигнала о ЧС и выдвигении МТМК. Система управления полетом по GPS-координатам местоположения ЧС прокладывает маршрут и управляет полетом. Управление полетом КМП представляет собой отдельную задачу, при решении которой осуществляется выбор оптимальных траекторий и режимов полета, а также поддержка стабилизации подлета квадрокоптера к пострадавшему до оптимального расстояния для своевременного оказания ЭМП. За время полета оператор МТМК контролирует полет и поведение квадрокоптера.

По прибытию квадрокоптера на место ЧС врачи-спасатели МТМК осуществляют поиск пострадавших. Для этого используются широкополосный радар, тепловизор и видео камера. При обнаружении отмечаются GPS-координаты положения каждого пострадавшего. При этом в реальном масштабе времени по изображению с видео камер квадрокоптера определяется расстояние до пострадавшего.

На борту КМН находятся необходимые медицинские принадлежности для оказания ЭМП. Врачи-спасатели МТМК, наблюдая через видео камеру, оценивают ФСО пострадавшего с помощью алгоритма START [4]. Отличительной особенностью КМН, помимо необходимых медицинских принадлежностей для оказания ЭМП, является наличие манипулятора медицинского назначения (ММН). Последний установлен непосредственно на корпусе КМН и предназначен для оказания доврачебной ЭМП при отсутствии человека рядом с пострадавшим при ЧС. ММН, работающий дистанционно в копирующем и полуавтоматическом режиме, управляется тем же врачом-оператором. После получения информации о ФСО пострадавшего, врач-оператор анализирует ситуацию и принимает решение для оказания ЭМП. Затем, копируя свои движения, врач-оператор с помощью манипулятора и 3D-видео камеры, на расстоянии оказывает ЭМП пострадавшему до приезда бригады МТМК. В частности, с помощью манипулятора врач-оператор дистанционно может наложить пострадавшему жгут на рану, сделать укол, подать таблетки и воду, закрепить портативный кардиоанализатор [5], приложить дефебрилятор и осуществлять другие необходимые действия для оказания ЭМП.

Таким образом, еще до прибытия на место ЧС, в распоряжении врачей МТМК находятся основные сведения о местоположении и степени тяжести пострадавших. С учетом имеющихся данных время в пути к месту ЧС может быть использовано для подготовки оборудования и персонала для оказания ЭМП.

После прибытия бригады МТМК на место ЧС и развертывания МТМК осуществляется корректировка очередности пострадавших по результатам оценки

ФСО [4]. Экстренная медицинская помощь бригадой МТМК осуществляется в соответствии с рекомендациями медицины катастроф. На этом этапе также осуществляется госпитализация нуждающихся пострадавших. МИАС позволяет врачу-оператору в МТМК получить информацию о состоянии пострадавшего, дифференцированно оценивать ФСО пострадавшего и принять решение по оказанию ЭМП.

Особенностью МИАС является использование многоагентных технологий. Агентный подход используется для моделирования сложных систем, состоящих из большого количества взаимодействующих подсистем [18]. В рамках этого подхода МИАС рассматривается как совокупность взаимодействующих частей – агентов, каждый из которых действует самостоятельно по заранее определенным правилам и может взаимодействовать с другими агентами. Таким образом, поведение всей МИАС складывается из взаимодействия ее частей. Во время симуляции агенты функционируют по отдельности, обмениваясь при этом значениями параметров. Каждый агент имеет локальное внутреннее время, а также время начала своей работы и конечное время [19]. Таким образом, агенты могут возникать и исчезать во время работы МИАС.

В целом, МИАС представляет собой комплекс программных средств, реализованных с помощью многоагентных технологий и направленных на обеспечение функционирования МТМК, хранение и обработку большого объема медицинских данных, а также обеспечения взаимодействия с КМН. Функционально МИАС можно представить в виде четырех взаимосвязанных агентов (рис.).

На рисунке видно, что агент взаимодействия с КМН состоит из средств управления КМН, средств управле-

ния манипулятором КМН и средств обмена данными с КМН. Для обеспечения работы данных средств необходимо использование системы GPS или ГЛОНАСС.

Для обеспечения коммуникации применяется комплекс радио и видео систем, для управления квадрокоптером, коррекции траектории полета и т.д. Даже при полете в автономном режиме информация о действиях, координатах и режимах полета квадрокоптера передается в систему управления. МИАС обрабатывает информацию, полученную с борта квадрокоптера, и отображает оператору необходимые сведения. Информация может содержать фото или видео-файл, GPS-координаты, скорость, высоту, дальность, запасы энергии аккумулятора и т.д.

Агент анализа медицинских данных выполняет основные аналитические процессы МИАС, такие как определение и мониторинг ФСО пострадавших, медицинская сортировка и визуализация медицинских данных. Для хранения медицинских данных применяются средства доступа к БД, включающие в свой состав реляционную БД, систему управления базой данных (СУБД) и программное обеспечение, предназначенное для работы с БД. БД размещается на сервере или одном из компьютеров и содержит необходимую медицинскую информацию. Доступ специалистам для редактирования баз данных осуществляется только при аутентификации пользователя, имеющего право на редактирование.

СУБД представляет собой средства доступа к БД. При входе в систему представления данных запрашивается имя и пароль пользователя. При успешной аутентификации, пользователю предоставляется определенный уровень доступа.

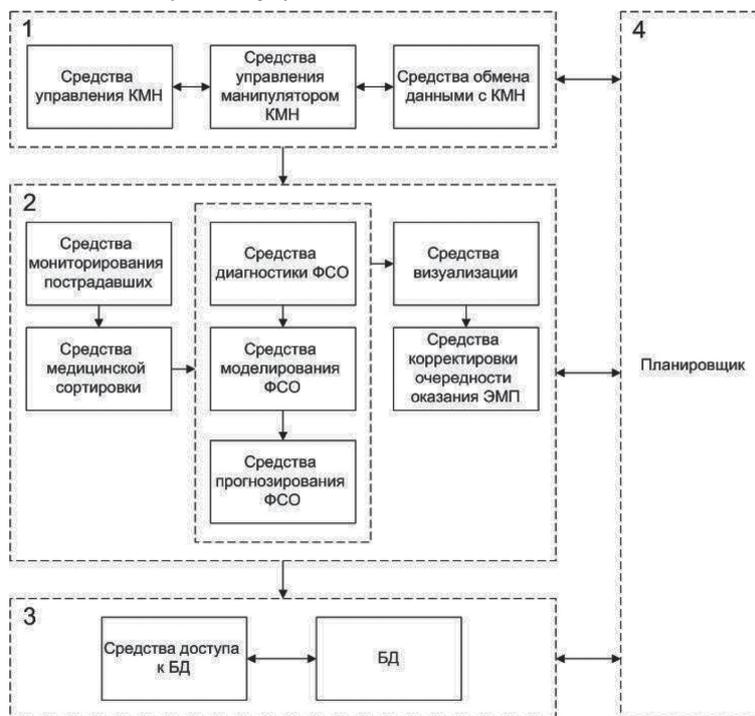


Рис. Структура медицинской информационно-аналитической системы

Программное обеспечение, предназначенное для работы с БД, позволяет в удобном виде отобразить пользователю все необходимую медицинскую информацию, сформировать необходимые отчеты, показать медицинскую статистику и т.д.

Планировщик является важной частью агентной модели, он осуществляет синхронную работу агентов и обмен сообщениями между ними, учитывая различие временных шкал. Планировщик хранит историю сообщений и по требованию агентов находит значения передаваемых переменных в нужной точке методом линейной интерполяции.

Заключение. Оснащение МТМК средствами «быстрого реагирования» повышает эффективность оказания ЭМП. Предлагаемая концепция обеспечивает оказание ЭМП в течение «золотого часа» за счет включения состав МТМК квадрокоптеров и медицинской информационно-аналитической системы.

В результате реализации данного подхода значительно сокращаются временные затраты на обработку информации и повышается вероятность оказания медицинской помощи в рамках «золотого часа». Квадрокоптеры медицинского назначения за счет своей мобильности, оперативности и быстроты способны до прибытия на место ЧС бригады МТМК обеспечить необходимыми сведениями врачей-спасателей о степени тяжести пострадавших и их местоположении.

Литература

1. Билич, Г.Л. Атлас анатомии человека / Г.Л. Билич, В.Н. Николенько. – Ростов-н/Д.: Феникс, 2014. – Т. 1. – 488 с.
2. Богомолов, А.В. Диагностика состояния человека: математические подходы / А.В. Богомолов [и др.] М.: Медицина, 2003. – 464 с.
3. Бодин, О.Н. Мобильный телемедицинский комплекс / О.Н. Бодин [и др.] // Патент РФ на полезную модель № 141202, опубл. 27.05.2014, бюл. 15.
4. Бодин, О.Н. Оптимизация оказания медицинской помощи в условиях чрезвычайной ситуации / О.Н. Бодин [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2014. – № 2 (46). – С. 202–206.
5. Бодин, О.Н. Портативный ЭКГ-датчик компьютерной диагностической системы «Кардиовид» / О.Н. Бодин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 112.
6. Василин, Н.С. Беспилотные летательные аппараты М.: – Попурри, 2003. – 272 с.
7. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования: учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1976. – 452 с.
8. Жуков, С.В. Избранные лекции по медицине катастроф / С.В. Жуков, Е.Г. Королюк. – Тверь: Изд-во ТверГУ, 2007. – 120 с.
9. Косников, Ю.Н. Построение интерфейса человек–компьютер для системы автоматизированного управления сложными объектами / Ю.Н. Косников // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014, № 4. – С. 82–92.
10. Медицина катастроф. Организационные вопросы: учебник / под ред. И.И. Сахно. – М.: ГОУ ВУНМЦ Минздрава России, 2002. – 252 с.
11. Нейтан, Яу Искусство визуализации в бизнесе. Как представить сложную информацию простыми образами / Яу Нейтан М.: Изд-во «Манн, Иванов и Фербер», 2013. – 352 с.
12. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций. Ч. 2, кн. 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / В.А. Акатьев [и др.] М.: – Папирус, 1998. – 176 с.
13. Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» / Росс. газета. – 1994, № 250 от 24.12.
14. Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» / Росс. газета. – 2011, № 263 от 23.11.
15. Шапталов, В.Г. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций: учебное пособие / В.Г. Шапталов, В.Ю. Радоуцкий, В.В. Шапталов – Белгород: – БелГТУ, 2010. – 166 с.
16. Шелепов, А.М. Перспективы создания объединенной медицинской группировки в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций / А.М. Шелепов [и др.] // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – 2014. – № 2 (46). – С. 173–180.
17. Экстремальная и военная медицина: учебник / под ред. А.Н. Бельских СПб.: НУ «ЦСИ», 2012. – 704 с.
18. Hernández, A.I. Multiformalism and Multiresolution Modelling Environment: Application to the cardiovascular system and its regulation. / A.I. Hernández [et al.] // Philos transact a math phys eng sci. – 2009. – Vol. 367, № 1908. – P. 4923.
19. Gorodetskiy, O. Model-Driven Engineering of Multi Agent Systems / O. Gorodetskiy [et al.] // International conference on intelligent agent technology, sydney, Australia, December 9–12. – 2008. – P. 100.

O.N. Bodin, K.A. Ozhikenov, A.K. Ozhikenova A.S. Sergeenkov, S.A. Usembaeva

Concept of emergency medical care

Abstract. An approach to solving the problem of providing emergency medical care on the basis of unmanned aerial vehicles (quadrocopter), medical devices and information analysis system, were substantiated the principles of emergency medical, algorithm functioning health information analysis system and the requirements for medical devices quadrocopters. Preservation of life and health of the population in case of liquidation the health consequences of emergencies is an important task of the state. The successful solution of this problem depends on the knowledge of the emergency arising from their diverse, unpredictable factors. This puts a lot of responsibility, especially in the service of disaster medicine in the implementation of medical evacuation support affected in the outbreak of disasters and catastrophes. It is shown that for the transition to a qualitatively new level of emergency medical care is necessary to develop theoretical propositions aimed at improving the efficiency of emergency medical care; the existence of mathematical models to predict the consequences of emergencies, describe the functional condition of the victims and visualize the situation in an emergency; improving the means of emergency medical care. It was proved that the concept of emergency medical care is based on the following principles: the principle of «golden hour», the principle of do no harm suffered, the principle of modeling and visualization. The proposed approach can reduce the time frame of care and significantly increase the likelihood of medical care during the «golden hour». Optimizing the timing of emergency medical care is a defining measure of the effectiveness of health care in emergency situations, and the development of improved methods and algorithms of emergency medical care is one of the most pressing development challenges disaster medicine.

Key words: emergency medical care, «golden hour», of disaster medicine, medical information and analytical system, quadrocopter, emergency, medical evacuation support, medical-sanitary consequences.

Контактный телефон: 8-963-098-04-53; e-mail: bodin_o@inbox.ru