

ЗАДАЧА ОРГАНИЗАЦИИ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ КОНСУЛЬТАЦИЙ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ДЛЯ БОЛЬНИЦ, УДАЛЕННЫХ ОТ КЛИНИК ГОРОДСКОГО ЦЕНТРА *

В.Н. ВОРОЖЕЙКИН¹, А.С. БАРАНОВ²

¹ 443100, РФ, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Самарский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры электронных систем и информационной безопасности. E-mail: vorojeikinvladimir@yandex.ru

² 443100, РФ, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Самарский государственный технический университет, инженер кафедры электронных систем и информационной безопасности. E-mail: as_baranov@bk.ru

Использование телемедицинских консультаций стало особенно популярным и актуальным в 2020 году в условиях ограничительных мер из-за пандемии COVID-19. Однако использовать средства связи для передачи медицинских показаний стали уже в начале XX века: первая передача сигналов электрокардиографии по телефонной связи была осуществлена в 1906 году, а в 1959 году в США впервые была проведена телевизионная консультация. На сегодняшний день большинство телемедицинских консультаций являются плановыми. Врачи подают заявки и необходимый пакет документов, после чего обращения рассматриваются и назначается дата проведения консультации. Для чрезвычайных ситуаций такой порядок действий не подходит, поскольку количество запросов может не соответствовать пропускной способности системы. В работе рассмотрена проблема применения телемедицинских консультаций в чрезвычайных ситуациях. Технологические аварии, тяжелые эпидемии не позволяют отправлять пострадавших в городской центр и требуют срочных операций и других медицинских действий на месте. В этой связи решается задача организации телемедицинских консультаций клиниками городского центра для больниц, удаленных от них. Эта проблема связана с решением следующих задач: построением системы управления телемедицинскими консультациями; разработкой математической модели распределения телемедицинских консультаций между больницами, количество которых значительно превышает количество клиник; разработкой алгоритмов оптимального управления (критерий времени) выполнения заявок телемедицинских консультаций в реальном масштабе времени; рассмотрением вопросов, связанных с информационной безопасностью системы. В результате в работе предложен подход к построению системы организации телемедицинских консультаций с использованием диспетчерско-медицинских центров. Сформулирована математическая постановка задачи. Разработан алгоритм распределения и функциониро-

* Статья получена 24 мая 2021 г.

вания системы, включающий больницы, диспетчерско-медицинский центр и клиники. Алгоритм использует математическую модель, реализующую рассматриваемую задачу. Для разработанной системы предложено программно-аппаратное обеспечение информационной безопасности.

Ключевые слова: телемедицинские консультации, больницы, клиники, заявки, распределение ресурсов, пациенты, математическая модель, алгоритм

ВВЕДЕНИЕ

Использование телемедицинских консультаций стало особенно популярным и актуальным в 2020 году в условиях ограничительных мер из-за пандемии COVID-19. Однако использовать средства связи для передачи медицинских показаний стали уже в начале XX века: первая передача сигналов электрокардиографии по телефонной связи была осуществлена в 1906 году, а в 1959 году в США впервые была проведена телевизионная консультация [1].

В научных статьях [2–14] рассмотрены различные аспекты проведения телемедицинских консультаций: организация для участников экспедиций, решение возникающих экономических вопросов, рассмотрение правовых аспектов, ответственность за оказание некачественных медицинских услуг, перспективы использования и применения в других странах.

В частности, Ю.И. Сенкевичем в работе [2] рассмотрена организация телемедицинских консультаций в полярных экспедициях. Автором предложена структурная схема телемедицинской системы, создана медицинская авторизованная информационная система.

А.П. Столбов, А.М. Алленов, И.Б. Харитонов в статье [3] описали требования к организации применения телемедицинских технологий, представили обобщенную схему телемедицинской системы, привели примеры формализованного описания процессов информационного взаимодействия при выполнении телемедицинских услуг.

К.А. Лукина, Д.А. Зайцев, Т.Ц. Гармаева, Л.П. Менделеева в работе [4] обобщили пятилетний опыт дистанционного взаимодействия ФГБОУ «НМИЦ гематологии» Минздрава России. В статье отмечается: «Основную массу ТМК составляют плановые запросы...»; «срок ответа на неотложные запросы составляет 1 рабочий день..., на плановые – 5 рабочих дней».

Сегодня большинство телемедицинских консультаций являются плановыми. Врачи подают заявки и необходимый пакет документов, после чего обращения рассматриваются и назначается дата проведения консультации. Для чрезвычайных ситуаций такой порядок действий не подходит, поскольку количество запросов может не соответствовать пропускной способности системы.

В настоящей работе исследуется проблема применения телемедицинских консультаций в чрезвычайных ситуациях. Технологические аварии, тяжелые эпидемии не позволяют отправлять пострадавших в городской центр и требуют срочных операций и других медицинских действий на месте. В этой связи решается задача организации телемедицинских консультаций клиниками городского центра для удаленных больниц.

Эта проблема связана с решением следующих задач.

1. Построение системы управления телемедицинскими консультациями.
2. Разработка математической модели распределения телемедицинских консультаций между больницами, количество которых значительно превышает количество клиник.
3. Разработка алгоритма оптимального управления (критерий времени) выполнения заявок телемедицинских консультаций в реальном масштабе времени.
4. Рассмотрение вопросов, связанных с информационной безопасностью системы.

В настоящее время задаче оптимального распределения ресурсов посвящено ряд монографий [15–17] и статей [18–20]. Однако значительная часть из них изучает распределение финансовых ресурсов.

Новизна настоящей работы заключается в распределении телемедицинских консультаций с учетом непрерывности а) процесса поступления заявок на их проведение; б) изменения приоритетности заявок в процессе их поступления и выполнения.

1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИМИ КОНСУЛЬТАЦИЯМИ

Поступающие заявки на организацию телемедицинских консультаций требуют распределения. Методы распределения ресурсов применяются в различных отраслях.

Управление ресурсами при организации медицинских телеконсультаций имеет ряд преимуществ:

- исключение непредвиденных осложнений: зная изначальную пропускную способность системы и планируя ее использование, можно избежать долгого ожидания на телеконсультацию;
- предотвращение выгорания: эффективное управление ресурсами позволяет избежать избыточной нагрузки на медицинский персонал;
- возможность подстраховки: при распределении ресурсов есть «подушка безопасности», так как вместо хаотичного отправления заявок происходит их анализ;

– прозрачность информации: все подсистемы получают информацию о возможностях сторон и состоянии пациента и на основании этого могут составить план реагирования;

– показатели эффективности: благодаря представлению о том, что необходимо для постановки задачи и ее выполнения, можно эффективно планировать результаты.

Предлагаемый в настоящей работе метод основывается на исследовании [21], где в системе взаимодействуют три агента: два связаны с внешней средой и один соединяет их, обеспечивая взаимную связь – диспетчерско-медицинский центр. В больницах, удаленных от клиник городского центра, в которые поступают пациенты, нуждающиеся в срочной медицинской помощи в результате чрезвычайной ситуации, есть недостаток специалистов, которые могут оказать квалифицированную помощь, поэтому формируются заявки на проведение телемедицинских консультаций. Эти заявки отправляются в диспетчерско-медицинский центр.

В диспетчерско-медицинском центре обрабатываются полученные заявки из больниц, удаленных от городских центров, и направляются в клиники согласно специализации заявки. Клиники получают заявки, проверяя у себя наличие свободных врачей-консультантов по необходимой специализации. Если клиники могут удовлетворить все условия, указанные в заявке, то должны отправить в диспетчерско-медицинский центр ответ на заявку, после чего принимается решение о проведении телеконсультаций. В конечном итоге между клиниками и удаленными от городских центров больницами проводится телеконсультация. Часто количество заявок из больниц превышает количество свободных специалистов в клиниках, формируется очередь, следовательно, возникают задержки при организации телеконсультаций. Их очередность определяется на основе определенных критериев, методом экспертных оценок.

Те заявки, для которых в данный момент не могут провести телеконсультации, отправляются в блок ожидания, где они сортируются и снова поступают в блоки, где повторно проходят экспертную оценку, в результате чего изменяется приоритетность их выполнения. После этого заявки снова поступают на согласование с клиниками. Если повторно идет отклонение, то заявки оформляются заново.

Во время проведения телеконсультаций обе стороны, врачи в больницах и консультанты в клиниках, имеют доступ к жизненным показателям пациента, его истории болезни, также они могут свободно общаться друг с другом по защищенному каналу связи. Диспетчерско-медицинский центр обязан поддерживать постоянство канала обмена информацией, поскольку любые сбои и бездействие могут привести к ухудшению состояния пациента или даже к его гибели.

Одной из важных проблем при распределении заявок является загруженность клиник, т. е. их пропускная способность. Чтобы ее решить, необходимо

установить критерии, на основе которых определяется очередность телемедицинских консультаций, которая зависит в первую очередь от состояния пациента, наличия свободных врачей-консультантов и врачей в больнице.

На рис. 1 представлен метод проведения телеконсультаций.



Рис. 1. Метод телеконсультаций

Fig. 1. Teleconsultation method

На основе предложенного метода была разработана обобщенная схема, демонстрирующая функционирование системы и включающая в себя больницы, удаленные от районных центров, клиники и диспетчерско-медицинский центр. Схема представлена на рис. 2.

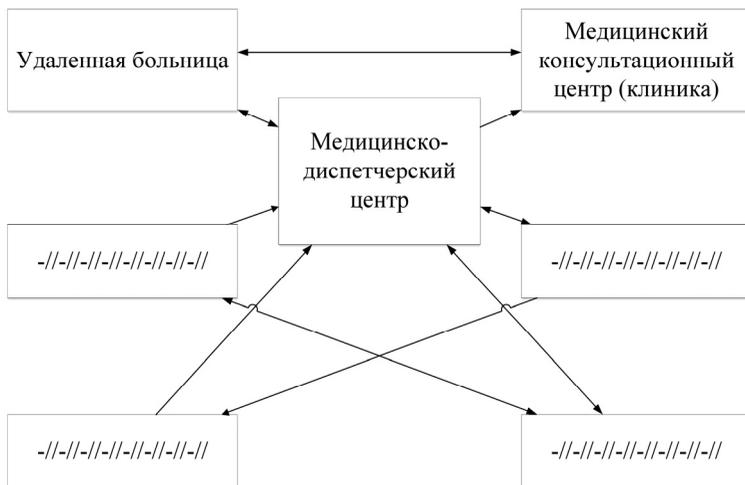


Рис. 2. Общая схема построения системы

Fig. 2. General scheme of building the system

В ее состав входят следующие компоненты:

- подсистема 1 – диспетчерско-медицинский центр;
- подсистема 2 – больницы, удаленные от городских центров, запрашивающие проведение консультации;
- подсистема 3 – клиники городских центров, предоставляющие информационно-медицинскую помощь.

Защищенные каналы обмена информацией между подсистемами 1, 2, 3.

Каждая подсистема выполняет определенный круг задач.

В функции подсистемы 2 входит следующее.

Формирование и передача заявки на проведение консультации в подсистему 1.

Передача информации о состоянии пациента и компетентности врачей в подсистему 1.

Поддержание в стабильном состоянии информационного канала с элементом подсистемы 3 в процессе консультации.

В случае временного сбоя канала связи – получение информации от подсистемы 3.

Подсистема 3 должна обеспечивать проведение телеконсультации и передачу необходимой информации в подсистему 1 в случае сбоя в канале консультации.

В свою очередь, подсистема 1 является связующим звеном между подсистемами 2 и 3, в ее функции входит распределение заявок на телеконсультации между подсистемами на основе принципа мультиагентных технологий – временной загруженности клиник, а также на опыте специалистов и их согласии. Распределение заявок ведется в реальном времени, и предусмотрена возможность корректировки сформированного плана распределения, исключая заявки, которые находятся в стадии согласования.

Таким образом, общий алгоритм работы системы заключается в следующем: подсистема 1 обрабатывает и распределяет поступившую от подсистемы 2 заявку между элементами подсистемы 3, и между выбранными элементами подсистем 2 и 3 устанавливается информационный канал для проведения телеконсультации.

Технологический процесс телемедицины состоит из медицинских манипуляций: формирование заявки в больницах, перемещение заявки в диспетчерско-медицинский центр, обработка заявки и отправка ее в отделение клиники, прием заявки и формирование ответа и др.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ КОНСУЛЬТАЦИЙ

В дальнейшем будем рассматривать систему оперативного управления телемедицинскими консультациями для нескольких больниц, удаленных от регионального центра, как непрерывно функционирующую. Следовательно, в диспетчерско-медицинском центре всегда должны находиться диспетчеры, которые будут контролировать входящие заявки, отправлять их в клиники, принимать ответы на эти заявки и поддерживать телемедицинские консультации на физическом уровне.

В медицинской сфере огромное значение имеет время, поэтому в первую очередь система выделяет критичных пациентов. Как раз для этого и используется метод экспертных оценок, который позволяет распределять заявки в соответствии с опасностью для жизни пациента не только при первом поступлении, но и в процессе выполнения. За счет этого идет сокращение времени ожидания, поскольку в период большой загрузки заявок не должно быть простоев в виде свободных окон у врачей-консультантов, одна заявка должна сменяться другой.

В качестве начального времени t_0 применим время находящегося внутри интервала функционирования системы.

Постановка задачи

Пусть на момент времени t_0 в регионе функционируют больницы B_i (где $i = 1 \dots n$), использующие телеконсультации для проведения срочных консультаций по различным медицинским специализациям C_j (где $j = 2 \dots m$).

На основании поступающих в больницу данных о пациенте формируется диагностика $D(C(P))$ по определенной специализации. В табл. 1 представлены обозначения.

Таблица 1

Table 1

Обозначение переменных модели

Model variable designations

№ п/п	Обозначение	Наименование
1	t_0	Начальное время функционирования системы
2	B_i	Больницы, использующие телеконсультации для проведения срочных медицинских консультаций
3	C_j	Специализации больницы
4	K_z	Клиники регионального центра
5	P	Входные данные о пациентах

Таким образом, заявку больницы на проведение телеконсультаций можно представить как $B_i(C_j)$, причем значение j может принимать случайный характер независимо от величины i .

Клиники регионального центра K_z (где $z = 1 \dots nk$) осуществляют телеконсультации для больниц по различным медицинским специализациям C_j (где $j = 1 \dots m$).

В этом случае заявка больницы, выполняемая клиникой, определяется как $C_j(K_z)$, причем величина z связана с j и определяется специализацией клиники, т. е. в общем случае клиники K_z ($C_{j_1}, C_{j_2}, C_{j_3}, \dots$), где j_1, j_2, j_3, \dots находятся внутри диапазона $j = 1 \dots m$. Важным условием данной задачи является $n \gg n_k$.

Заявки, поступающие в медицинско-диспетчерский центр, имеют коэффициент приоритетности Q_i ($Q = 1 \dots n$). Будем считать, что все консультанты в клиниках заняты и интервал времени, через которое клиника сможет принять заявку, составляет T_z . После соотнесения специализации заявки и консультирующей клиники в случае нескольких заявок и ограниченности пропускной возможности клиник важно в первую очередь провести телемедицинские консультации для наиболее сложных случаев, а также сократить время ожидания консультации, таким образом, оптимизировать процесс распределения заявок.

Введем допущения:

- 1) интервал времени, через который клиника сможет принять заявку на проведение телеконсультации, T представлено в условных единицах (у.е.);
- 2) коэффициент приоритетности Q_i представлен в условных единицах (у.е.);
- 3) количество больниц (заявок) больше, чем клиник;
- 4) примем максимальное значение $Q = 10$;
- 5) условимся, что после T_i клиника сможет принять одного пациента (заявку).

Рассмотрим модель распределения заявок с учетом коэффициента распределения Q_i и интервала времени, через который клиника сможет принять заявку – T_z . В табл. 2 представлена матрица, по горизонтали которой расположен перечень больниц, по вертикали – клиники. Пересечением в матрице B_i и K_z является разность между Q_i и T_z . В случае, если $T_z > Q_i$, записывается 0.

Таблица 2

Table 2

Матрица больницы / клиники для составления линейных уравнений**Hospital / Clinic matrix for composing linear equations**

Клиники \ Больницы	Б ₁	Б ₂	...	Б _i
К ₁	Q ₁ - T ₁	Q ₂ - T ₁	...	Q _i - T ₁
К ₂	Q ₁ - T ₂	Q ₂ - T ₂	...	Q _i - T ₂
...
К _z	Q ₁ - T _z	Q ₂ - T _z	...	Q _i - T _z

На основе табл. 2 составим систему линейных уравнений (1):

$$\begin{cases} (Q_1 - T_1)x_1 + (Q_2 - T_1)x_2 + \dots + (Q_i - T_1)x_i = b_1; \\ (Q_1 - T_2)x_1 + (Q_2 - T_2)x_2 + \dots + (Q_i - T_2)x_i = b_2; \\ \dots \\ (Q_1 - T_z)x_1 + (Q_2 - T_z)x_2 + \dots + (Q_i - T_z)x_i = b_z, \end{cases} \quad (1)$$

где $b_1 = b_2 = b_z = nk$ – клиники, которые смогут провести телемедицинские консультации; x_i показывает эффективность сочетания «больница / клиника» (вероятность данной больницы к клиникам).

Введем A – матрицу коэффициентов – разности между Q_i и T_z ; b – вектор-столбец ограничений количества клиник; x – вектор-столбец, показывающий эффективность сочетания «больница / клиника»; c – вектор-строка, содержащий наименьший коэффициент приоритетности.

$$A = \begin{pmatrix} (Q_1 - T_1) & (Q_2 - T_1) & (Q_i - T_1) \\ (Q_1 - T_2) & (Q_2 - T_2) & (Q_i - T_2) \\ \dots & \dots & \dots \\ (Q_1 - T_z) & (Q_2 - T_z) & (Q_i - T_z) \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_z \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_i \end{pmatrix}, \quad c = (c_1, c_2 \dots c_i).$$

Задача оптимизации имеет вид

$$f(x) = (c, x) \rightarrow \max, \\ Ax \leq b, \quad x \geq 0.$$

Для решения графическим методом, а также для решения симплекс-методом вручную данная задача слишком сложна. Поэтому решаем ее с помощью надстройки «Поиск решения в EXCEL».

После решения задачи оптимизации определяется (nk) заявок, тем самым матрица имеет вид ($nk \times nk$), аналогично с решением первой матрицы определяется уже не (nk) заявок, а одна, т. е. приоритет, который выше остальных.

Таким образом, необходимо разработать алгоритм, позволяющий решать задачу распределения ресурсов (телеконсультаций) клиник по заявкам больниц на некотором интервале времени $t_0 \dots t_r$ (где $t_r > t_0$) уже функционирующей системы $B_i(C_j) \rightarrow C_j(K_z)$. При условии $n \gg n_k$ j носит случайный характер и может принимать одинаковые значения для различных i , исходя из системы взаимодействия подсистем системы.

Основными блоками являются блоки формирования, ожидания и распределения. Эти блоки рассматриваются основополагающими в алгоритме распределения телеконсультаций. Обозначим блок формирования заявок блоком 1, куда будут поступать все заявки от больниц. В блоке ожидания хранятся сформированные заявки по медицинским специализациям, проводится их сортировка и перемещение на экспертное оценивание для определения очередности выполнения заявок. Немаловажную роль играет и блок распределения заявок по специализациям клиник в зависимости от того, могут ли клиники провести сейчас телеконсультацию, если же нет такой возможности, то заявки снова уходят в блок ожидания.

3. АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ (КРИТЕРИЙ ВРЕМЕНИ) ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЯВОК ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ КОНСУЛЬТАЦИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

На рис. 3 представлен алгоритм, включающий математическую модель распределения заявок на телеконсультации, оптимального управления выполнения заявок телемедицинских консультаций, распределения заявок между клиниками.

Ниже представлено описание разработанного алгоритма.

1. Изначально в систему поступают данные о пациентах, на основании которых формируются блоки $B_i(C_j)$ – заявки на проведение телеконсультаций, включающие в себя в основном входные данные о пациенте P (жизненные показатели пациентов, наличие хронических заболеваний и т. д.).

2. Блок 1. Блок формирования заявок $B_i(C_j) \rightarrow C_j(B_i)$. Заявки формируются в клиниках на основании специализации и отправляются в общий блок.

3. Блок 2. Блок распределения заявок по базам данных C_j . Заявки сортируются в зависимости от их специализации, по каждой из специализаций может быть несколько заявок от разных больниц.

4. Блок 3. Блок формирования заявок по базам данных C_j вновь поступивших, находящихся в режимах ожидания (блоки 5, 6), проверки на готовность клиник выполнять первоочередные заявки из блоков ожидания (блок 4).

5. Блок 5. Блок формирования заявок по базам данных, сформированных в блоке 3 и выставленных с учетом приоритетов их выполнения.

Определение приоритетов выполнения заявок проводится на основе критерия приоритетности Q и времени T , через которое клиника сможет принять заявку (математическая модель описана выше).

6. Блок 6. Внедрение из сформированных заявок первоочередных (табл. 3) по базам данных C_j в отдельную базу данных (блок 7). Формируется очередь из поступивших заявок по критериям, которая проходит через логический блок.

7. Логический блок 1.1 определяет направление передачи: отдельной базы первоочередных заявок в блок 4 либо оставшихся баз данных C_j , находящихся в режиме ожидания, в блок 3, проходящих сортировку с новыми поступившими заявками, и вновь отправляются в блоки 5, 6, 7 на экспертное оценивание.

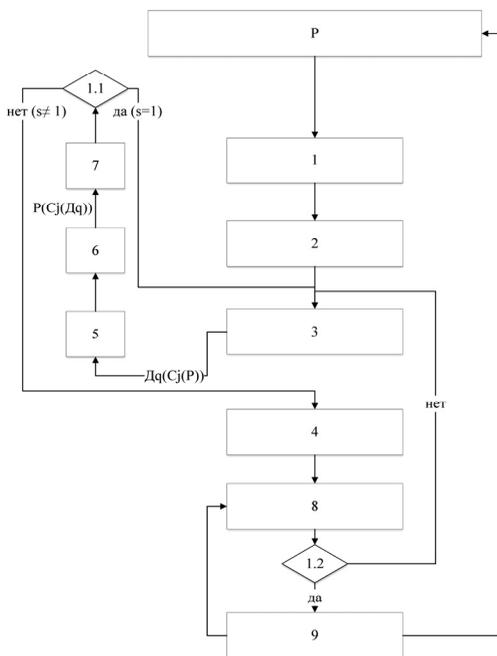


Рис. 3. Алгоритм функционирования системы

Fig. 3. The algorithm of the system functioning

8. Блок 4 проводит анализ баз данных C_j первоочередных на предмет готовности клиник к их выполнению (база готовности – блок 8). База готовности формируется клиниками. Если же клиники не могут осуществить телеконсультацию, то заявки вновь уходят в блок 3, где сортируются, проходят через блоки 5, 6, 7 и вновь оказываются в блоке 4.

Таблица 3

Table 3

База данных внеочередных заявок**Out of order database**

C_1	$C_1(B_1)$	C_1	$C_1(B_2), C_1(B_6)$
C_2	$C_2(B_2)$	C_2	$C_2(B_5), C_1(B_7)$
...
C_m

9. Блок 9. Клиники осуществляют телеконсультации в соответствии с полученными заявками с помощью технических средств.

4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ КОНСУЛЬТАЦИЙ

Изложим функции по обеспечению безопасности информационной системы проведения и организации телемедицинских консультаций:

- контроль за достоверностью информации, получаемой врачом-консультантом о пациенте;
- коррекция указанной информации в случае ее искажения независимо от причин;
- защита канала передачи информации «больницы – диспетчерско-медицинские центры – клиники» с использованием криптосистем;
- защита каналов приема-передачи информации внутри больницы.

Для организации проведения телемедицинских консультаций предлагается использование TrueConf Server – защищенной программной системы ВКС (видеоконференции). Основными преимуществами TrueConf Server являются доступная инфраструктура, масштабируемость. TrueConf Server позволяет обеспечивать конфиденциальность информации как при работе в закрытой сети, так и при передаче данных по открытым каналам связи Интернет. Защищена предусмотрена разработчиками TrueConf Server с возможностью поддержки шифрования по ГОСТу.

Для организации защищенного соединения и передачи информации, проходящей через Интернет, применяется КриптоПро NGate (TLS-сервер доступа к веб-сайтам, сервер порталного доступа, VPN-сервер).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье показана система управления телемедицинскими консультациями, представлена разработка математической модели распределения телемедицинских консультаций с учетом приоритетности заявок и загруженности больниц, количество которых значительно превышает количество клиник; предложен алгоритм оптимального управления (критерий времени) выполнения заявок телемедицинских консультаций не в детерминированной поставке, а постоянно изменяющейся, а также рассмотрен вопрос обеспечения информационной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кленов В.А.* Практическое использование телемедицинских технологий в медицине катастроф (обзор литературы) // Смоленский медицинских альманах. – 2019. – № 1. – С. 160–162.
2. *Сенкевич Ю.И.* Организация телемедицинских консультаций в полярных экспедициях // Биотехносфера. – 2009. – № 2. – С. 46–52.
3. *Столбов А.П., Алленов А.М., Харитонова И.Б.* О стандартизации телемедицинских технологий: требования к организации применения // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2018. – № 7–8. – С. 35–44.
4. Экономические аспекты оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий / О.С. Кобякова, В.И. Стародубов, Ф.Н. Кадыров, Н.Г. Куракова, А.М. Чилилов // Врач и информационные технологии. – 2020. – № 3. – С. 60–66.
5. Модель пациент-центрированной системы организации медицинской помощи в урологии с использованием телемедицинских технологий / О.И. Апалихин, В.И. Перхов, И.А. Шадёркин, А.В. Владимирский // Экспериментальная и клиническая урология. – 2018. – № 1. – С. 14–18.
6. *Борисов Д.Н., Иванов В.В.* Организационная телемедицина // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 3. – С. 112–120.
7. *Кажыров Ф.Н., Куракова Н.Г., Чилилов А.М.* Правовые проблемы применения телемедицинских технологий в условиях борьбы с распространением коронавируса COVID-19 // Врач и информационные технологии. – 2020. – № 2. – С. 45–51.

8. Распределение ответственности за некачественное оказание медицинской помощи при использовании телемедицинских технологий / С.П. Морозов, А.В. Владимирский, М.С. Варюшин, А.В. Аронов // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. – 2018. – № 1–2. – С. 9–15.
9. *Chellaiyan V.G., Nirupama A.Y., Taneja N.* Telemedicine in India: where do we stand? // Journal of Family Medicine and Primary Care. – 2019. – Vol. 8 (6). – P. 1872–1876. – DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_264_19.
10. Acceptability, usability, and effectiveness: a qualitative study evaluating a pediatric telemedicine program / H. Sauers-Ford, M. Hamline, M. Gosdin, L. Kair, G. Weinberg, J. Marcin, J. Rosenthal // Academic Emergency Medicine. – 2019. – Vol. 26, N 9. – P. 1022–1033. – DOI: 10.1111/acem.13763.
11. *Zanaboni P., Wootton R.* Adoption of routine telemedicine in Norwegian hospital: progress over 5 years // BMC Health Services Research. – 2016. – Vol. 16. – P. 496. – DOI: 10.1186/s12913-016-1743-5.
12. Experiences of telemedicine in neurological out-patient clinics during the COVID-19 pandemic / E. Kristoffersen, E. Sandset, B. Winsvold, K. Faiz, A. Storstein // Annals of Clinical and Translational Neurology. – 2021. – Vol. 8, N 2. – P. 440–447. – DOI: 10.1002/acn3.51293.
13. Implementation and application of telemedicine in China: cross-sectional study // JMIR MHealth UHealth. – 2020. – Vol. 8, N 10. – P.e18426. – DOI: 10.2196/18426.
14. *Bokolo A. Jnr.* Use of telemedicine and virtual care for remote treatment in response to COVID-19 pandemic // Journal of Medical Systems. – 2020. – Vol. 44, N 7. – P. 132. – DOI: 10.1007/s10916-020-01596-5.
15. *Кцоев А.Б.* Государство и экономика: оптимальные механизмы распределения ресурсов: монография. – М.: Инфра-М, 2014. – 233 с.
16. *Чу Донг Сюань.* Управление процессами распределения ограниченных ресурсов с учетом активного поведения потребителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2019. – 20 с.
17. *Горбанева О.И.* Статические модели распределения ресурсов с учетом согласования интересов активных агентов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2018. – 49 с.
18. *Горелов Ю.Н., Данилов С.Б., Курганская Л.В.* Об оптимальном распределении ресурса управления в системе независимых объектов управления // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления. – М., 2019. – С. 663–668.
19. *Клевещ Н.И.* Оптимальное распределение ресурсов в условиях неопределенности // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. – 2016. – № 1. – С. 118–123.
20. *Козлова Г.Г., Гришианов Ю.Е.* Применение имитационной модели для оптимального распределения ресурсов // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2021. – № 6. – С. 96–98.

21. *Хвастунов А.С.* Моделирование и оптимизация процессов переработки контейнерных грузов: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2013. – 149 с.

22. *Бурмистрова Е.Б., Лобанов С.Г.* Линейная алгебра с элементами аналитической геометрии: учебное пособие. – 2-е изд., доп. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2007. – 220 с.

Ворожейкин Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электронных систем и информационной безопасности Самарского государственного технического университета. Основные направления научных исследований – информационная безопасность, эффективные системы навигации и управления летательными аппаратами. E-mail: vorojeikinvladimir@yandex.ru

Баранов Александр Сергеевич, инженер кафедры электронных систем и информационной безопасности Самарского государственного технического университета. Область научных интересов – информационная безопасность. E-mail: as_baranov@bk.ru

DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-49-66

The task of organizing telemedicine consultations in emergency situations for hospitals remote from the clinics of the city center *

V.N. Vorozheykin¹, A.S. Baranov²

¹ *Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443001, Russian Federation, candidate of technical sciences, associate professor of the Electronic Systems and Information Security Department. E-mail: vorojeikinvladimir@yandex.ru*

² *Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443001, Russian Federation, engineer of the Electronic Systems and Information Security Department. E-mail: as_baranov@bk.ru*

The use of telemedicine consultations has become particularly popular and relevant in 2020 in the face of restrictive measures due to the COVID-19 pandemic. However, the use of means of communication for the transmission of medical indications began at the beginning of the XX century: the first transmission of electrocardiography signals by telephone was carried out in 1906. And in 1959, the first television consultation was held in the United States. To date, most telemedicine consultations are scheduled. Doctors submit applications and the necessary set of documents, after which the applications are considered, and the date of the consultation is set. For emergency situations, this procedure is not suitable, because the number of requests

* Received 24 May 2021.

may not correspond to the system bandwidth. The paper considers the problem of using telemedicine consultations in emergency situations. Technological accidents, severe epidemics do not allow to send the victims to the city center and require. This problem is related to the solution of the following tasks: construction of a telemedicine consultation management system; development of a mathematical model for the distribution of telemedicine consultations between hospitals that significantly exceed the number of clinics; development of algorithms for optimal management (time criterion) of the execution of telemedicine consultation requests in real time; consideration of issues related to the information security of the system. As a result, an approach to the construction of a system for organizing telemedicine consultations with the use of dispatching and medical centers was proposed. The mathematical formulation of the problem is formulated. An algorithm for the distribution and operation of the system, including hospitals, dispatching and medical centers and clinics, has been developed. The algorithm uses a mathematical model that implements the problem under consideration. For the developed system, software and hardware support for information security is proposed.

Keywords: telemedicine consultations, hospitals, clinics, applications, resource allocation, patients, mathematical model, algorithm

REFERENCES

1. Klenov V.A. Prakticheskoe ispol'zovanie telemeditsinskikh tekhnologii v meditsine katastrof (obzor literatury) [Practical use of telemedicine technologies in disaster medicine (literature review)]. *Smolenskii meditsinskikh al'manakh*, 2019, no. 1, pp. 160–162. (In Russian).
2. Senkevich Yu.I. Organizatsiya telemeditsinskikh konsul'tatsii v polyarnykh ekspeditsiyakh [Organization of telemedicine consultations in polar expeditions]. *Biotekhnosfera*, 2009, no. 2, pp. 46–52. (In Russian).
3. Stolbov A.P., Allenov A.M., Kharitonova I.B. O standartizatsii telemeditsinskikh tekhnologii: trebovaniya k organizatsii primeneniya [On the standardization of telemedical technologies: requirements for the organization of application]. *Problemy standartizatsii v zdravookhranenii = Health care Standardization Problems*, 2018, no. 7–8, pp. 35–44.
4. Kobyakova O.S., Starodubov V.I., Kadyrov F.N., Kurakova N.G., Chililov A.M. Ekonomicheskie aspekty okazaniya meditsinskoj pomoshchi s primeneniem telemeditsinskikh tekhnologii [Economic aspects of medical care with the use of telemedicine technologies]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Physicians and IT*, 2020, no. 3, pp. 60–66.
5. Apalikhin O.I., Perkhov V.I., Shaderkin I.A., Vladzimirskii A.V. Model' patsient-tsentrirovannoi sistemy organizatsii meditsinskoj pomoshchi v urologii s ispol'zovaniem telemeditsinskikh tekhnologii [Model of a patient-centered system for organizing medical care in urology using telemedicine technologies]. *Ekspirimental'naya i klinicheskaya urologiya = Experimental and clinical urology*, 2018, no. 1, pp. 14–18.

6. Borisov D.N., Ivanov V.V. Organizatsionnaya telemeditsina [Organizational telemedicine]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Physicians and IT*, 2017, no. 3, pp. 112–120.

7. Kazhyrov F.N., Kurakova N.G., Chililov A.M. Pravovye problemy primeniya telemeditsinskikh tekhnologii v usloviyakh bor'by s rasprostraneniem koronavirusa COVID-19 [Legal problems of the application of telemedicine technologies in the fight against the spread of the coronavirus COVID-19]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Physicians and IT*, 2020, no. 2, pp. 45–51.

8. Morozov S.P., Vladimirskii A.V., Varyushin M.S., Aronov A.V. Raspredelenie otvetstvennosti za nekachestvennoe okazanie meditsinskoj pomoshchi pri ispol'zovanii telemeditsinskikh tekhnologii [Distribution of responsibility for poor quality medical care using telemedicine technologies]. *Zhurnal telemeditsiny i elektronnoho zdavookhraneniya = The Journal of Telemedicine and E-Health*, 2018, no. 1–2, pp. 9–15.

9. Chellaiyan V.G., Nirupama A.Y., Taneja N. Telemedicine in India: where do we stand? *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 2019, vol. 8 (6), pp. 1872–1876. DOI: 10.4103/jfmpe.jfmpe_264_19.

10. Sauers-Ford H., Hamline M., Gosdin M., Kair L., Weinberg G., Marcin J., Rosenthal J. Acceptability, usability, and effectiveness: a qualitative study evaluating a pediatric telemedicine program. *Academic Emergency Medicine*, 2019, vol. 26, no. 9, pp. 1022–1033. DOI: 10.1111/acem.13763.

11. Zanaboni P., Wootton R. Adoption of routine telemedicine in Norwegian hospital: progress over 5 years. *BMC Health Services Research*, 2016, vol. 16, p. 496. DOI: 10.1186/s12913-016-1743-5.

12. Kristoffersen E., Sandset E., Winsvold B., Faiz K., Storstein A. Experiences of telemedicine in neurological out-patient clinics during the COVID-19 pandemic. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, 2021, vol. 8, no. 2, pp. 440–447. DOI: 10.1002/acn3.51293.

13. Cui F., Ma Q., He X., Zhai Y.-k., Zhao J., Chen B., Sun D., Shi J., Cao M., Wang Z. Implementation and application of telemedicine in China: cross-sectional study. *JMIR MHealth UHealth*, 2020, vol. 8, no. 10, p. e18426. DOI: 10.2196/18426.

14. Bokolo A. Jnr. Use of telemedicine and virtual care for remote treatment in response to COVID-19 pandemic. *Journal of Medical Systems*, 2020, vol. 44, no. 7, p. 132. DOI: 10.1007/s10916-020-01596-5.

15. Ktsoev A.B. *Gosudarstvo i ekonomika: optimal'nye mekhanizmy raspredeleniya resursov* [State and economy: optimal mechanisms of resource allocation]. Moscow, Infra-M Publ., 2014. 233 p.

16. Chu Dong Xuan. *Upravlenie protsessami raspredeleniya ogranichennykh resursov s uchetom aktivnogo povedeniya potrebitel'ei*. Avtoref. diss. kand. tekhn.

nauk [Management of the processes of allocation of limited resources taking into account the active behavior of consumers. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. Voronezh, 2019. 20 p. (In Russian).

17. Gorbaneva O.I. *Sticheskie modeli raspredeleniya resursov s uchetom soglasovaniya interesov aktivnykh agentov*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Static models of resource allocation taking into account the coordination of the interests of active agents. Author's abstract of Dr. eng. sci. diss.]. Moscow, 2018. 49 p.

18. Gorelov Yu.N., Danilov S.B., Kurganskaya L.V. [On the optimal distribution of the control resource in the system of independent control objects]. *XIII Vserossiiskoe soveshchanie po problemam upravleniya* [XIII All-Russian meeting on control problems]. Moscow, 2019, pp. 663–668. (In Russian).

19. Klevets N.I. Optimal'noe raspredelenie resursov v usloviyakh neopredelenosti [Optimal allocation of resources in conditions of uncertainty]. *Nauchnyi vestnik: finansy, banki, investitsii = Scientific Bulletin: Finance, Banking, Investment*, 2016, no. 1, pp. 118–123.

20. Kozlova G.G., Grishanov Yu.E. Primenenie imitatsionnoi modeli dlya optimal'nogo raspredeleniya resursov [Application of a simulation model for optimal resource allocation]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika = Economics and business: theory and practice*, 2021, no. 6, pp. 96–98.

21. Khvastunov A.S. *Modelirovanie i optimizatsiya protsessov pererabotki konteynernykh грузов*. Diss. kand. tekhn. nauk [Modeling and optimization of container cargo handling processes. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. St. Petersburg, 2013. 149 p.

22. Burmistrova E.B., Lobanov S.G. *Lineinaya algebra s elementami analiticheskoi geometrii* [Linear algebra with elements of analytic geometry]. 2nd ed., add. Moscow, HSE Publ., 2007. 220 p.

Для цитирования:

Ворожейкин В.Н., Баранов А.С. Задача организации телемедицинских консультаций в чрезвычайных ситуациях для больниц, удаленных от клиник городского центра // Безопасность цифровых технологий. – 2021. – № 2 (101). – С. 49–66. – DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-49-66.

For citation:

Vorosheykin V.N., Baranov A.S. Zadacha organizatsii telemeditsinskikh konsul'tatsii v chrezvychainykh situatsiyakh dlya bol'nits, udalennykh ot klinik gorodskogo tsentra [The task of organizing telemedicine consultations in emergency situations for hospitals remote from the clinics of the city center]. *Bezopasnost' tsifrovyykh tekhnologii = Digital technology security*, 2021, no. 2 (101), pp. 49–66. DOI: 10.17212/2782-2230-2021-2-49-66.