

Учет влияния человеческих факторов на процесс принятия социо-ориентированных решений при госпитализации в условиях эпидемии*

А. В. Смирнов¹, Е.Г. Молл², Н. Н. Тесля¹

¹ Федеральное государственное учреждение науки Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия

² АНО Европейский центр подготовки руководителей "ЦНПР"ММК", г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. При принятии социо-ориентированных решений для госпитализации больных в сложных эпидемиологических условиях необходимо учитывать большое количество параметров, описывающих текущую ситуацию, источниками которых являются участники процесса госпитализации. Однако большое количество параметров существенно усложняет модель и увеличивает время принятия решения. В работе представлен анализ значимости человеческих факторов для процесса принятия решений и использование их для уточнения информационной модели кооперативной игры, описывающей процесс госпитализации. Представлена архитектура системы поддержки принятия социально-ориентированных решений при госпитализации в условиях сложной эпидемиологической ситуации, описывающая взаимодействие основных участников процесса и основные программные блоки системы. Результаты тестирования уточненной информационной модели показывают повышение качества принятия решений за счет повышения значимости факторов, оказывающих влияние на принятие решений, а также большую вариативность решений за счет учета человеческих факторов.

Ключевые слова: госпитализация, модель, человеческие факторы, кооперативная игра, архитектура.

DOI 10.14357/20718632220308

Введение

Любая эпидемиологическая ситуация требует от системы здравоохранения принятия большого количества взвешенных решений, направленных на борьбу с последствиями эпидемии, связанными как с сохранением человеческих жизней, так и снижения негативного воздействия на экономику и общественные настроения. Опыт пандемии коронавируса по-

казал, что даже при наличии значительного опыта и строгих регламентов по предотвращению эпидемий, новый тип болезни может потребовать значительную перестройку системы здравоохранения и принципов принятия решений. В частности, в условиях ограниченности информации, важным становится оперативность и обоснованность принятия решений при госпитализации заболевших. Это связано не только с параметрами физического состояния

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ гранты № 20-04-60054, 20-07-00904 и бюджетной темы FFZF-2022-0005.

человека, но и психологическим воздействием процедуры госпитализации на заболевшего и его окружение.

Отсутствие оперативного обмена информацией при работе различных служб, участвующих в процессе госпитализации, а также непредсказуемое поведение людей иногда могут привести к негативным последствиям. В частности, агрессивная оптимизация системы здравоохранения может в конечном итоге привести к нехватке врачей, оборудования и медикаментов, а, следовательно, к увеличению числа смертей от болезни [1–4]. При снижении эффективности системы здравоохранения может возникнуть не только нехватка основных средств, но и увеличиться время ожидания машины скорой помощи, как при направлении машины скорой помощи к больному, так и при транспортировке больного в госпиталь. В то же время в условиях пандемии снижается доступный ресурс для лечения других заболеваний, что может негативно сказаться на статистике смертности. Введение жестких ограничительных мер при отсутствии должного обоснования и наличии недоверия может привести к значительному повышению уровня стресса и недовольства, что в итоге может перерасти в отказ от рекомендаций и протесты [5–7]. Все это является дополнительной мотивацией для разработки информационной модели системы поддержки принятия социально-ориентированных решений о госпитализации в условиях пандемии, позволяющей учесть ограничения ресурсов системы здравоохранения, физиологические и психологические факторы, воздействующие на пациента и персонал, а также распределить нагрузку на объекты системы здравоохранения.

Таким образом, при принятии решений о мерах по борьбе с последствиями эпидемии необходимо учитывать множественные ограничения ресурсов системы здравоохранения и параметры общества с использованием различных подходов, от линейного программирования, до генетических алгоритмов [8]. Среди ресурсных ограничений можно выделить количество и размещение госпиталей, количество машин скорой помощи, численность и структуру медицинского персонала, обеспеченность лекар-

ствами. К параметрам общества относятся уровень одобрения решений, уровень стресса как общества в целом, так и отдельных людей.

В статье рассматривается проблема влияния различных человеческих факторов при добавлении их в модель принятия решения при госпитализации. Модель, разработанная ранее, учитывает в основном динамику физиологического и психологического состояния пациента в зависимости от времени принятия решения, а также ограничения ресурсов системы здравоохранения, такие как загруженность госпиталей, возможности транспортирования больных, достаточность персонала и оборудования [9]. Однако для принятия социально-ориентированных решений необходимо также учитывать параметры, связанные с гендерными, возрастными, профессиональными и другими социальными параметрами участников процесса госпитализации.

Организация обмена информацией между участниками процесса госпитализации также является важной задачей. Для ее решения в работе предлагается архитектура системы поддержки принятия социо-ориентированных решений при госпитализации (СППСОРГ), объединяющая существующие муниципальные информационные системы с новыми блоками, осуществляющими расчет вариантов госпитализации и формирование перечня возможных решений для диспетчера станции скорой медицинской помощи. Процесс принятия решений формализован с использованием математического аппарата кооперативных игр в терминах затрат. Это позволяет сформировать коалицию участников процесса госпитализации, которые путем совместных слаженных действий способны минимизировать общие затраты на решение поставленной задачи, которой, в случае рассматриваемой проблемы, является госпитализация и лечение пациента в условиях эпидемии. Данная задача также может быть формализована и решена в терминах агентно-ориентированных моделей, в которых поведение агентов также направлено на максимизацию собственной функции полезности [10] или имитационного моделирования с использованием метода РДО (Ресурс-Действие-Операции), основанный на продукционных правилах для каждого ресурса [11].

Проверка корректности полученных моделей и сравнение с ранее полученными результатами осуществляется с использованием программной реализации основных архитектурных модулей с заранее сгенерированным набором данных. Данный набор содержит фиксированные перечни госпиталей, станций скорой помощи, машин скорой помощи, пациентов и лабораторно-диагностических центров. Параметры каждой из указанных сущностей были сгенерированы случайным образом на основе статистического распределения, полученного при анализе данных о госпитализациях во время пандемии COVID-19.

1. Гипотетическая информационная модель СППСОРГ

В результате анализа российских и зарубежных исследований, посвященных новой коронавирусной инфекции, кейсов, описанных в СМИ и Интернет-источниках, было выявлено 24 кейса, отражающие наиболее эмоционально окрашенные проблемные зоны госпитализации

в условиях пандемии. Для построения гипотетической модели использовался метод интервью. Целью интервью было получение развернутой картины отклонений процесса госпитализации от существующих регламентов, позволяющей уточнить влияние человеческого фактора в модели трех задержек [12] и осуществить оценку эмоциональной составляющей этого процесса. Задачам исследования в наибольшей степени отвечало полустандартизированное интервью. В качестве респондентов в интервью участвовало 20 пациентов, госпитализированных с COVID-19 или с неподтвержденным диагнозом, 9 врачей СМП и 3 руководителя медицинских учреждений (2 СМП и 1 госпиталь). По результатам интервью была составлена гипотетическая модель влияния различных факторов на принятие решений при госпитализации (Рис. 1).

Данная гипотетическая информационная модель была дополнена анализом параметров СППСОРГ, включающих в себя ограничения на ресурсы здравоохранения, в рамках которых происходит принятие решения о госпитализации. Для этого процесс принятия решений был

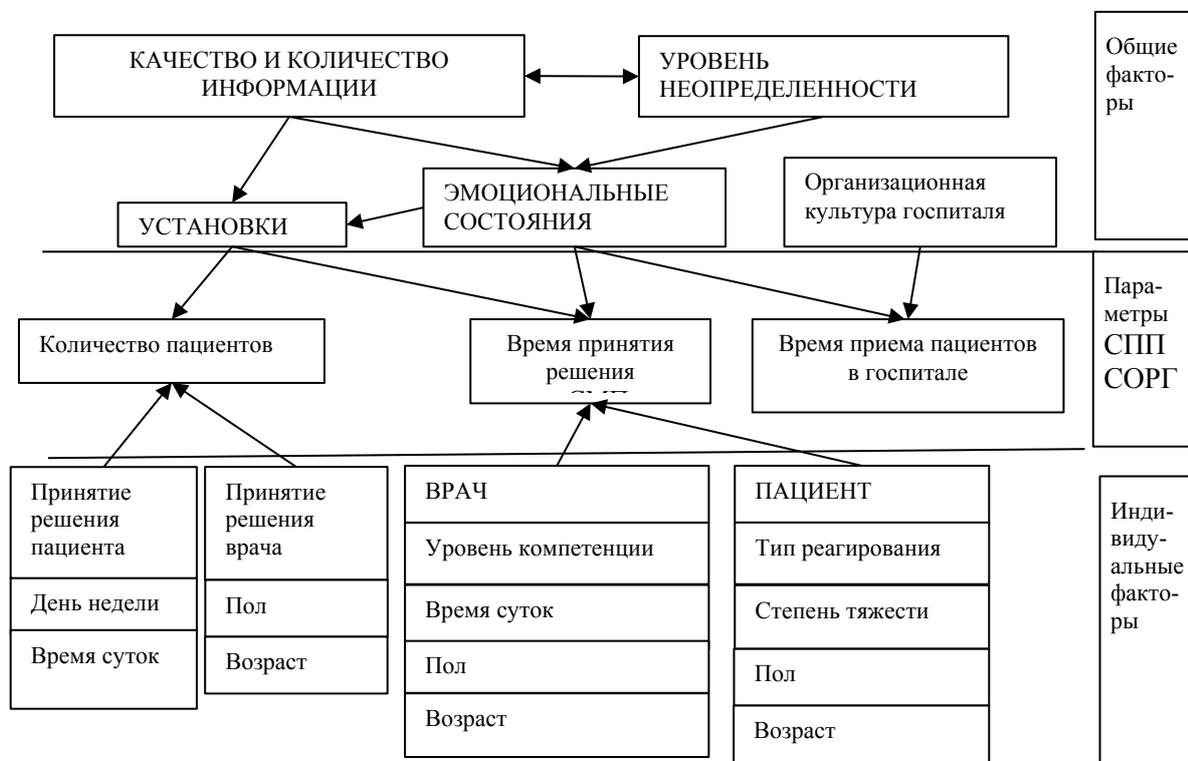


Рис. 1. Гипотетическая информационная модель влияния различных факторов на принятие решений при госпитализации

разделен на два этапа. На первом этапе осуществляется первичный опрос пациента для определения необходимости госпитализации и подбора подходящей машины скорой помощи.

При поступлении звонка от больного с ним проводится опрос для конкретизации симптомов и первичной оценки вероятности того или иного заболевания. Опрос, помимо вопросов на выявление основных симптомов, может содержать вопросы о сопутствующих заболеваниях, поле, возрасте, недавних контактах с потенциально зараженными людьми. Дополнительно уточняется местонахождение пациента и наличие у него медицинской страховки для определения источника возмещения затрат на лечение и реабилитацию.

После сбора информации диспетчерская служба должна оперативно оценить необходимость госпитализации (должно быть подтверждено не менее половины симптомов заболевания). Затем, исходя из текущей нагрузки, подбирается машина скорой помощи, в которой есть необходимое оборудование и медикаменты для предварительного обследования и возможной госпитализации.

Набор параметров, определяемый на данном этапе, включает в себя:

Глобальные параметры:

- Приоритеты системы здравоохранения.
- Общая эпидемиологическая ситуация.

Информация, получаемая от станции скорой медицинской помощи и диспетчеров:

- Количество звонков за сутки.
- Средняя степень тяжести больных, нуждающихся в госпитализации.
- Местонахождение больного и госпиталя (в районе обслуживания станции скорой помощи).
- Количество направлений в госпитали.
- Среднее время ожидания в очереди на вызов скорой помощи в случае госпитализации.

Информация от машин скорой помощи:

- Текущее местоположение;
- Опыт и компетенции персонала (Среднее время принятия решения, количество ошибок (пациент возвращается на место жительства));
- Оборудование машины скорой помощи (лекарства, инструменты, портативные

лабораторные станции для проведения анализов);

- Среднее время работы персонала (степень утомления).

На втором этапе осуществляется выбор госпиталя и, при необходимости, лабораторно-диагностического центра, в которые необходимо доставить больного. После того, как больному назначена машина скорой помощи, сотрудники скорой помощи несут ответственность за состояние больного. Им необходимо провести первичный осмотр на собственном оборудовании и решить, требуется ли пациенту срочная госпитализация или транспортировка в лабораторно-диагностический центр на дополнительное обследование. Например, в случае с COVID-19 частой была ситуация, в которой для окончательной постановки диагноза и принятия решения о госпитализации требовалась компьютерная томография легких.

При принятии решения о госпитализации необходимо выбрать госпиталь, имеющий свободные койки и все необходимое оборудование для лечения больного с выявленной тяжестью заболевания. Для этого необходимо обратиться к диспетчеру, принимающему решение о месте дополнительного обследования или госпитализации на основании оценки текущей ситуации. На данном этапе принятия решений о госпитализации также необходимо учитывать множество параметров, среди которых:

Параметры пациента и скорой помощи:

- Состояние пациента (лист описания состояния (20 параметров и общая оценка), сопутствующие заболевания, возраст);
- Местоположение пациента.

Параметры диспетчера:

- Приоритеты системы здравоохранения;
- Текущая загруженность дорог в районе обслуживания СМП;

Параметры лабораторно-диагностического центра:

- Время обслуживания одного пациента;
- Очередь обслуживания;
- Наличие ресурсов (тесты, дезинфицирующие материалы);
- Стоимость обслуживания одного пациента;
- Время очистки и дезинфекции после обслуживания.

Параметры госпиталя:

- Время обслуживания одного пациента;
- Длина очереди;
- Количество коек;
- Доступные протоколы лечения и сценарии;
- Стоимость лечения и реабилитации одного пациента;
- Наличие ресурсов (лекарства, оборудование);
- Квалификация и компетенции персонала.

2. Архитектура системы СППСОРГ в сложных эпидемиологических условиях

Как видно из гипотетической информационной модели, СППСОРГ в сложной эпидемиологической ситуации должна обеспечивать сбор и обработку информации из большого количества разнородных источников. Все типы факто-

ров должны объединяться посредством единой модели сразу по нескольким участникам процесса госпитализации, принадлежащих разным классам. Архитектура также должна обеспечивать оперативное формирование перечня доступных решений с ранжированием вариантов за время меньше, чем 30 минут [9].

Архитектуру СППСОРГ в сложной эпидемиологической ситуации можно разделить на три уровня, в которых объекты взаимодействуют между собой (Рис. 2). Первый уровень – уровень физических агентов. В него включаются сами пациенты, врачи/бригады скорой медицинской помощи (СМП), диспетчера, госпитали, лабораторно-диагностические центры (ЛДЦ) и аптеки.

Взаимодействие на физическом уровне осуществляется при непосредственном контакте агентов или с использованием сетей связи. Использование информационных систем, как правило, не предполагается. Основной задачей

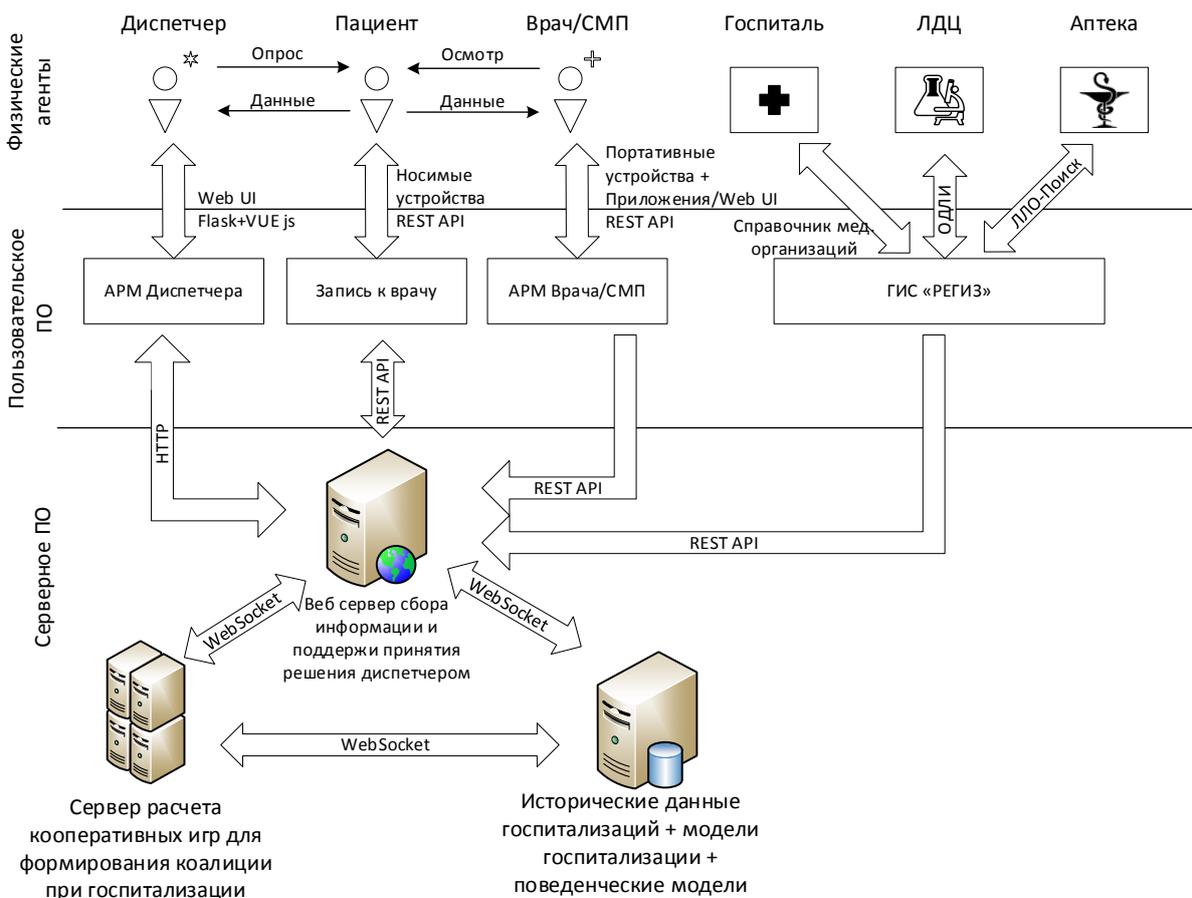


Рис. 2. Архитектура системы СППСОРГ

взаимодействия на данном уровне является сбор и конкретизация параметров текущей ситуации, которые затем используются в качестве исходных параметров при принятии решений. Так, например, диспетчер посредством заранее подготовленного опроса проводит уточнение состояния пациента и фиксирует результаты в СППСОРГ посредством веб-интерфейса своего автоматизированного рабочего места (АРМ). Врач или бригада СМП, проводя осмотр пациента, также осуществляет фиксацию всех собранных параметров в СППСОРГ через АРМ. В процессе сбора непосредственно физических параметров состояния пациента, опросы и осмотр врача включают в себя оценку психологического состояния как самого пациента, так и его окружения, что в последующем также используется при принятии решения о госпитализации. Информация о пациенте может собираться с использованием носимых устройств. Хотя госпитали, ЛДЦ и аптеки не участвуют напрямую в процессе принятия решения, они предоставляют через единую информационную систему дополнительный контекст о состоянии системы здравоохранения: количество свободных коек, оборудование, спецификация госпиталей; оборудование, реактивы и загруженность ЛДЦ; наличие требуемых лекарственных средств в аптеках и т.д.

На уровне пользовательского программного обеспечения (ПО) происходит агрегация всей информации от физических агентов и ее преобразование для передачи на уровень серверного ПО. Каждый из объектов уровня пользовательского ПО представляет собой отдельную систему, взаимодействующую с другими посредством прямых вызовов через уровень серверного ПО с использованием протоколов HTTP и REST API. На этом же уровне расположена информационная система регионального здравоохранения (для Санкт-Петербурга – ГИС РЕГИЗ), которая предоставляет интерфейсы для сбора, обмена и анализа информации об объектах системы здравоохранения, а также доступ к персональным медицинским картам пациентов. Так, в частности, сбор данных о результатах лабораторных исследований осуществляется через протокол обмена диагностическими и лабораторными исследованиями

(ОДЛИ), а информация о запасах лекарств в аптеках размещается в подсистеме «ЛЛО-Поиск».

На уровне серверного ПО отдельный сервис осуществляет агрегацию информации из всех доступных источников и прием задач на поддержку принятия решений о госпитализации с учетом параметров пациента и текущей ситуации. Для этого могут использоваться как существующие модели госпитализации и исторические данные, на основе которых выбирается наиболее близкое к текущей ситуации решение, так и запускаться расчет кооперативной игры для формирования коалиции под конкретную ситуацию. Расчет коалиции также может использовать исторические данные и поведенческие модели для более точной оценки затрат участников коалиции при госпитализации. Результат расчета сохраняется как исторические данные для последующего анализа и уточнения существующих моделей. Взаимодействие между объектами на уровне серверного ПО осуществляется посредством протокола WebSocket, позволяющего поддерживать открытое соединение между двумя серверами для асинхронных вызовов функций и получения ответов на вызовы.

3. Учет влияния человеческих факторов на процесс принятия решений в условиях пандемии

Гипотетическая информационная модель СППСОРГ (Рис. 1) обеспечивала формирование решений о госпитализации, однако не учитывала степень влияния человеческих факторов на принятые решения, что не позволяло оценить социальный эффект от госпитализации. В качестве модельных данных для анализа влияния социальных факторов на принятие решения о госпитализации в тяжелой эпидемиологической ситуации были выбраны данные о второй волне пандемии COVID-19 за ноябрь-декабрь 2020 (пик нагрузки на СМП по COVID-19 во второй волне пандемии), полученные от трех районных станций СМП Санкт-Петербурга (обслуживание около 350 тыс. жителей). Рассматривалась деятельность 64 врачей СМП, выезжавших на вызовы к 1586 пациентам с подтвержденным и неподтвержденным COVID-19. Для анализа времени

принятия решения о госпитализации и оценки времени приема пациентов в 13 госпиталях Санкт-Петербурга использовался метод хронометража, данные АСУВБ СМП [9].

Для диагностики уровня страха, тревоги, эмоциональной включенности в ситуации эпидемии были проанализированы три волны эпидемии COVID-19 (по 6 недель: апрель–май 2020, ноябрь–декабрь 2020, июнь–июль 2021). Анализ проводился по 9 параметрам, в которых ретроспективная оценка эмоционального состояния сочеталась с актуальной оценкой общей тревоги, беспокойства за свое здоровье и здоровье родных и близких во время трех волн эпидемии. Дополнительно собиралась информация о перенесенном респондентом заболевании и вакцинации от COVID-19. В исследовании участвовали 107 респондентов (мужчин – 51, женщин – 56, средний возраст 43,8 года, стандартное отклонение - 15,6), проживающие в Москве, Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Из них на момент проведения исследования: 38,3% - переболели COVID-19, 53,3% - вакцинировались (из них 36,5% не болели и вакцинировались, а 16,8% - переболели и вакцинировались), 25,2% - не болели и не вакцинировались). Обработка данных осуществлялась с помощью методов математической статистики, включая t-критерий Стьюдента, коэффициенты корреляции Пирсона и Спирмена.

Время принятия решения о госпитализации.

В доковидных условиях временные рамки принятия решения врачом о госпитализации пациента регулировались стандартными нормативами. Ограниченные ресурсы системы здравоохранения во время пандемии обуславливают необходимость прогнозирования продолжительности нахождения экипажа СМП у пациента и исследования факторов, которые могут

определять время совместного принятия решений врач - пациент (shared decision making – SDM, в узком смысле) о госпитализации в условиях COVID-19, к которым относятся: а) время суток, когда принимается решение; б) особенности пациентов и их состояния - возраст, пол, тяжесть заболевания; в) особенности врачей – уровень компетентности, возраст, пол, стаж работы; г), общие факторы - высокий уровень неопределенности, тревоги [13], воздействующий как на врачей, так и на поведение пациентов, а также, так называемый, кризис здравоохранения [14], выражающийся в неверии пациентов во всех странах в возможность получения в сложившихся условиях своевременной и адекватной медицинской помощи, возникшее в том числе и под влиянием большого объема угрожающей информации, транслируемой СМИ.

В ряде исследований были выявлены различия по качеству и времени принятия решений в зависимости от времени суток [15]. Это обусловило необходимость проверки гипотезы о влиянии суточного цикла на принятие совместных решений о госпитализации. В проведенном исследовании различий во времени принятия совместных решений о госпитализации 552 пациентов от времени суток не обнаружено (Табл. 1). Полученные результаты ставят под сомнение возможность распространения выводов, полученных на основе анализа Интернет-активности пользователей на реальные события.

Анализ полученных данных показал, что существует значимая корреляционная связь между временем принятия совместных решений врачей и возрастом пациента. ($r=0,31842$, $n=552$, $p<0,01$). Чем старше пациент, тем больше временные затраты на принятие решения о госпитализации врачами СМП. Наиболее

Табл. 1. Влияние суточного цикла на время принятия решения о госпитализации

№	Временные интервалы (часы)	Временные интервалы(часы)	t-Стьюдента	Значимость различий
1	1-4	5-8	0,54249	не значимы
2	1-8	9-18	0,36997	не значимы
3	1-4	5-24	0,11095	не значимы
4	1-4	9-13	0,6409	не значимы
5	1-4	14-18	0,69168	не значимы

сильно эта связь проявляется у пациентов женщин ($r=0,31933$, $n=295$, $p<0,01$) и менее выражена у мужчин ($r=0,29809$, $n=255$, $p<0,01$). Не значимыми являются различия времени принятия решений врачами в зависимости от пола пациента ($t=0,2667$). Также не выявлена связь степени тяжести заболевания пациента и времени принятия решения о госпитализации.

Особое внимание уделялось анализу качества и скорости принятия решений врачей в зависимости от их индивидуальных особенностей. Значимых временных различий в принятии решений между врачами мужчинами и женщинами не обнаружено. Возраст врача не оказывает влияние на время принятия решений на значимом уровне.

Время приема пациентов в госпиталях.

В процессе анализа рассматривалось время приема пациентов в 13 госпиталях в первую волну эпидемии. Выявлены существенные различия по времени приема пациентов в специализированных (инфекционных) (средний показатель 102 мин.) и неспециализированных госпиталях, которые затрачивают на прием пациента времени до 2,5 раз больше. Госпитали могут быть разделены на три группы по времени приема пациентов в зависимости от их корпоративной культуры. Наличие процедур, упрощающих прием пациентов с COVID-19, наличие или отсутствие четких регламентов, мотивация персонала, организация контроля позволяют неспециализированным госпиталям демонстрировать наилучшие показатели (средний показатель 94 мин). Обнаружены значимые различия между тремя группами госпиталей по времени принятия пациентов в зависимости от их корпоративной культуры.

Общие факторы.

Уточнение модели для оценки общих факторов потребовало использование методики ретроспективной оценки беспокойства, тревоги и страха за здоровье себя и окружающих во время трех волн COVID-19, которая позволяет оценить динамику эмоциональных состояний, возникших под влиянием неопределенности и целевых информационных потоков (Рис. 3). В Табл. 2 представлены средние значения тревожности в зависимости от волны пандемии и гендерных различий.

Анализ полученных данных показал, что общая тревога по поводу COVID-19 возникает по типу «шока» - максимальный всплеск в первую волну и значительное падение во вторую и третью волны ($t=4,39$, $p<0,001$; $t=4,29$, $p<0,001$). Динамика общего состояния тревоги отличается от характера изменений эмоциональных состояний, связанных с тревогой за собственное здоровье и здоровье близких. Тревога за себя и за близких существенно снижается только к третьей волне ($t=2,766$ $p<0,01$; $t=5,357$ $p<0,001$). Наименьшие показатели тревоги у респондентов во всех трех волнах были за собственное здоровье.

В контексте изучения влияния общих факторов на параметры системы анализировались данные о госпитализации пациентов с COVID-19 в Москве [15]. Рассматривалась динамика показателей соотношения госпитализированных и заболевших COVID-19 (коэффициент госпитализации) в трех волнах. Полученные результаты: первая волна – 0,49, вторая – 0,25; третья – 0,24. Выявлены значимые различия первой волны от второй и третьей и отсутствие различий между второй и третьей волнами.

Табл. 2. Средние значения тревожности в зависимости от волны COVID-19 и гендерные различия (10-ти балльная шкала).

№ волны COVID-19 (пол)	Общая тревога М()	Тревога за собственное здоровье	Тревога за здоровье родственников и близких
1 жен./муж.	4,63 (2,86) 4,89/4,35	3,74 (2,60) 4,04/3,41	6,12 (2,84) 6,73/5,45
2 жен./муж	3,87 (2,47) 4,21/3,49	3,18 (2,38)) 3,41/2,94	5,49 (2,74) 6,01/4,92
3 жен./муж	3,48 (2,41) 3,86/3,06	2,89 (2,21) 3,23/2,53	5,21 (2,71) 5,80/4,55
Средние значения	3,99	3,27	5,61

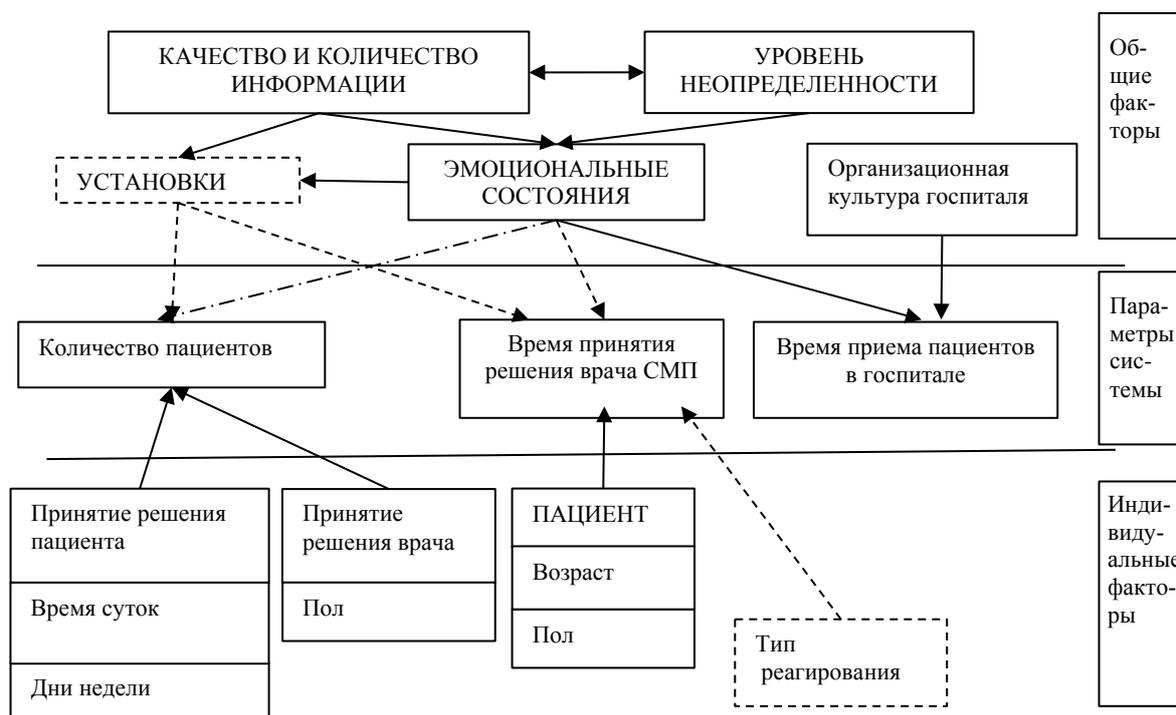


Рис. 3. Уточненная модель влияния человеческих факторов на процесс госпитализации при COVID-19 (пунктир с точкой - значимое влияние, штрих - отсутствуют данные)

При принятии решений о госпитализации пациентов с COVID-19 врачи руководствовались правилами и регламентами, разработанными на местном или национальном уровнях. Отмечается, что за время пандемии было разработано множество моделей для прогнозирования необходимости в госпитализации, при этом убедительность доказательств для любой из этих моделей крайне низка: модели характеризуются высоким риском систематической ошибки, недостаточной прогностической точностью [16]. Следовательно, индивидуальные особенности врачей могут влиять на принятие решения о госпитализации. Метаанализ 22 публикаций (33062 пациента) показал высокую распространенность тревожных переживаний из-за коронавирусной инфекции среди медицинского персонала и выявил гендерные различия: врачи женского пола демонстрируют более высокий уровень переживаний по сравнению с врачами мужского пола [17]. Результаты проведенного исследования продемонстрировали, что большая эмоциональная включенность женщин не сказывается на времени принятия совместных решений, но увеличивает частоту госпитализаций.

Профессиональные навыки медицинского персонала СМП позволяют нивелировать индивидуальные особенности пациентов при принятии решения о госпитализации. На время принятия решения врачом не оказывают влияние пол пациента и степень тяжести состояния. Исключение составляет возраст пациента. Например, в первую волну пандемии в США описан «шок-молодых» [18, 19]. Более молодые люди переоценивали риски COVID-19 для себя и других по сравнению со старшим поколением, что отражалось на их поведении, в том числе и при госпитализации. Полученные данные свидетельствуют о том, что при COVID-19 время принятия совместного решения о госпитализации коррелирует с возрастом пациента. Чем старше пациент, тем большие временные затраты потребуются на это решение. Тип реагирования пациента на необходимость госпитализации (оппозиционный, позитивный, паникующий, колеблющийся, целевой) оказывает влияние на время совместных решений. Однако, с одной стороны, отсутствует объективная возможность учесть это влияние в системе, тогда как с другой - специальная подготовка врачей СМП позволяет нивелировать различия по времени.

Исследование психологических факторов госпитализации при COVID-19 выявило достоверную связь риска госпитализации с когнитивными функциями пациентов, маркером медицинской грамотности [19]. Установки, связанные с когнитивными способностями, влияют на основные параметры процесса госпитализации (количество пациентов и время принятия совместных решений). Однако, отсутствие данных и существенные трудности в получении их в дальнейших исследованиях, не позволяют ни подтвердить, ни опровергнуть этот факт, а, следовательно, использовать, связанные с этим коэффициенты в системе. К общим факторам, влияющим непосредственно на процесс госпитализации, относятся эмоциональные состояния его участников, которые в значительной степени определяются уровнем неопределенности, количеством и качеством информации о ситуации с пандемией в целом [20]. В результате проведенного исследования были получены данные подтверждающие наличие общего эмоционального шока первой волны и отсутствие значимых различий общей тревоги между второй и третьей волнами. Обнаружено сходство структур различий показателей общей тревожности и коэффициента госпитализации по волнам эпидемии. Резкое снижение удельного веса госпитализаций среди заболевших во вторую и третью волны по сравнению с первой не находит свое объяснение только в наличии/отсутствии мест в госпиталях, изменении протоколов лечения, накоплении информации, мутации вируса, более качественной и оперативной диагностике. Если бы все перечисленное однозначно определяло динамику коэффициента госпитализаций, то снижение должно быть плавным и со значимыми различиями этого коэффициента между второй и третьей волнами. Под влиянием общей тревоги, которую испытывают и пациенты, и врачи существенно снижается порог тяжести симптомов для госпитализации [19].

Существенные различия времени приема пациентов с COVID-19 в 13 госпиталях Санкт-Петербурга в условиях пиковой нагрузки, позволили выделить среди них три группы, в которых корпоративная культура определяет один из наиболее важных параметров госпитализации –

задержку экипажей СМП. Это согласуется с оценкой значимости корпоративной культуры для результативности деятельности медицинских учреждений, проведенной в работе [21].

Таким образом, уточнение информационной модели позволяет сделать вывод о том, что часть ее факторов, такие как возраст врача, размещение смены врачей в определенное время суток или день недели не оказывает статистически значимого влияния на принятие решений (Рис. 3). Однако статистически доказано влияние на принятие решений о госпитализации корпоративной культуры госпиталей и используемых регламентов, дня недели и времени суток госпитализации.

4. Оценка обновленной модели процесса принятия решений

Для оценки изменения качества, а также оперативности принятия решений было проведено экспериментальное исследование. В основу эксперимента положена первая реализация гипотетической модели, подготовленная в рамках работы [9]. Данная модель основана на идее применения кооперативной игры с ненулевой суммой как метода формализации задачи принятия решения о госпитализации, результатом которой является коалиция, имеющая наибольший выигрыш. Для упрощения интерпретации модели кооперативная игра была сформулирована в терминах затрат с целью расчета с использованием генетического алгоритма [22]. При этом каждый тип участника коалиции может руководствоваться несколькими стратегиями поведения, определяющими их участие в составе коалиции или дополнительные затраты, в зависимости от выбранной стратегии. Следует также учитывать, что использование генетического алгоритма не предполагает получение глобального оптимального решения, а только квази-оптимального в рассматриваемом пространстве решений.

Проверка уточненной модели основана на генерации синтетического набора данных, сформированного на основе распределения результатов, полученных в ходе статистического анализа данных о госпитализациях в период ноябрь-декабрь 2020 (вторая волна пандемии COVID-19). Набор данных был использован в качестве исходного для запуска алгоритмов,

реализующих гипотетическую и уточненную модели поддержки принятия решений при госпитализации. Реализация алгоритма включает в себя программное описание классов, соответствующих модели каждого из типов участников кооперативной игры. Информационная модель была реализована с использованием парадигмы объектно-ориентированного программирования. Каждый участник был представлен специализированным программным классом, содержащим его основные параметры, дополнительные функции обработки параметров и функции вычисления стоимости кооперативной игры и функции изменения физиологических и психологических параметров с течением времени. Это позволило создать гибкую, конфигурируемую программную систему, в которой можно свободно настраивать параметры участников и использовать их при расчете кооперативной игры. Реализация обоих алгоритмов осуществлялась с использованием языка программирования Python. Для генетического алгоритма определены следующие входные параметры: количество поколений - 3000, количество родителей - 10, количество потомков - 100, количество генов мутации от 2 до 20.

В качестве тестового стенда использовался персональный компьютер со следующими параметрами: центральный процессор Intel Core i9 10900X 3,7 ГГц, 64Gb DDR4 RAM, интерпретатор запускался в виртуальной среде

Docker, взаимодействие с которой осуществлялось посредством программного пакета Jupyter.

На Рис. 4–6 представлены результаты экспериментального сравнения результатов работы СППСОРГ для гипотетической и уточненной информационной моделей. Из Рис. 4 видно, что при уточнении модели для одних и тех же входных данных изменяются составы некоторых коалиций (коалиции с идентификаторами 2-5 и 7, 8), а также происходит рост стоимости последующих госпитализаций. Изменение составов некоторых коалиций связано с увеличением веса человеческих факторов в уточненной информационной модели, из-за чего произошла переоценка времени и стоимости госпитализации (Рис. 5 и 6).

Как показывает Рис. 5, для каждой следующей коалиции стоимость госпитализации растет. Это происходит за счет того, что при фиксировании состава каждой коалиции происходит обновление доступных ресурсов системы и расчет следующей коалиции происходит с учетом изменившихся условий. Данный подход обеспечивает возможность учитывать изменения, которые вносят принятые решения с течением времени. Так, в частности, динамический учет свободных мест в госпиталях позволяет распределить пациентов более равномерно, избегая очередей на обработку, что было частым случаем во время эпидемии COVID-19.

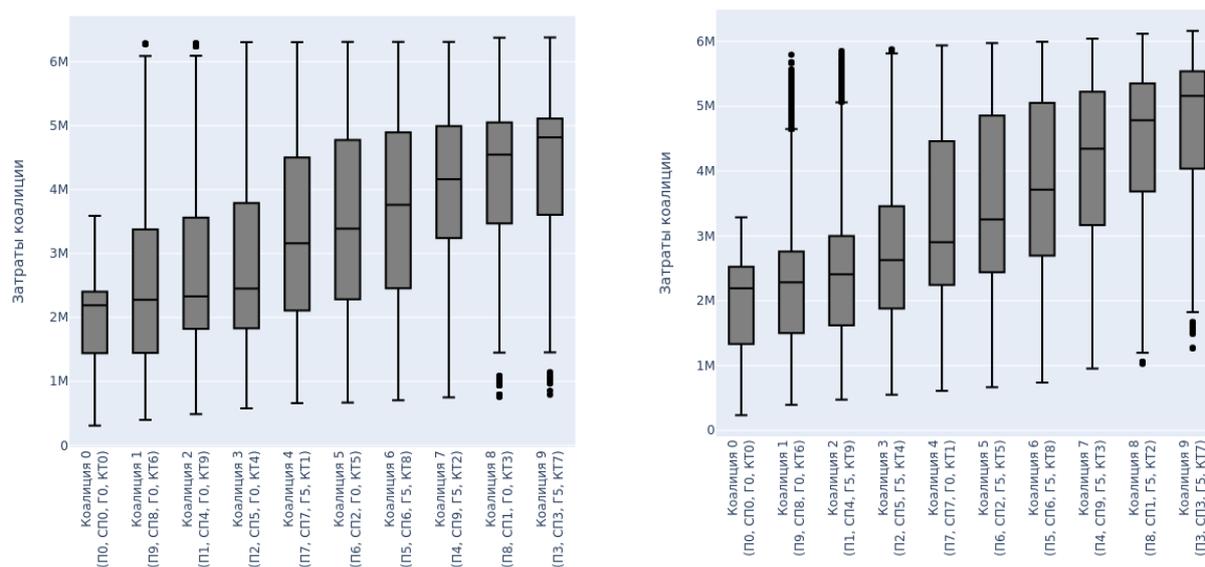


Рис. 4. Сравнение составов коалиций и параметров затрат для гипотетической (слева) и уточненной (справа) информационной моделей

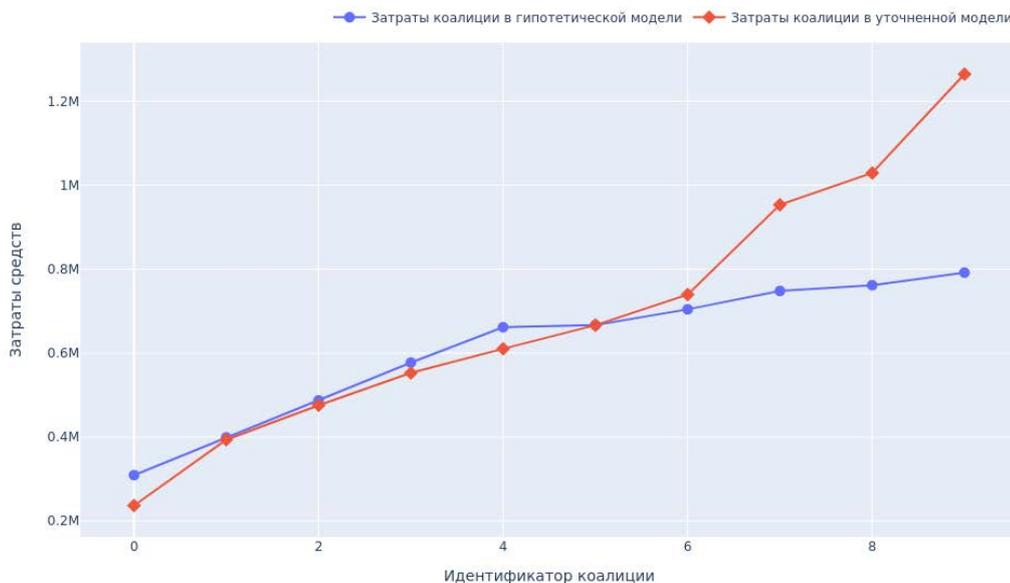


Рис. 5. Сравнение затрат средств (в рублях) коалиций, построенных с использованием гипотетической и уточненной информационной модели в зависимости от порядка вычисления коалиции участников процесса госпитализации

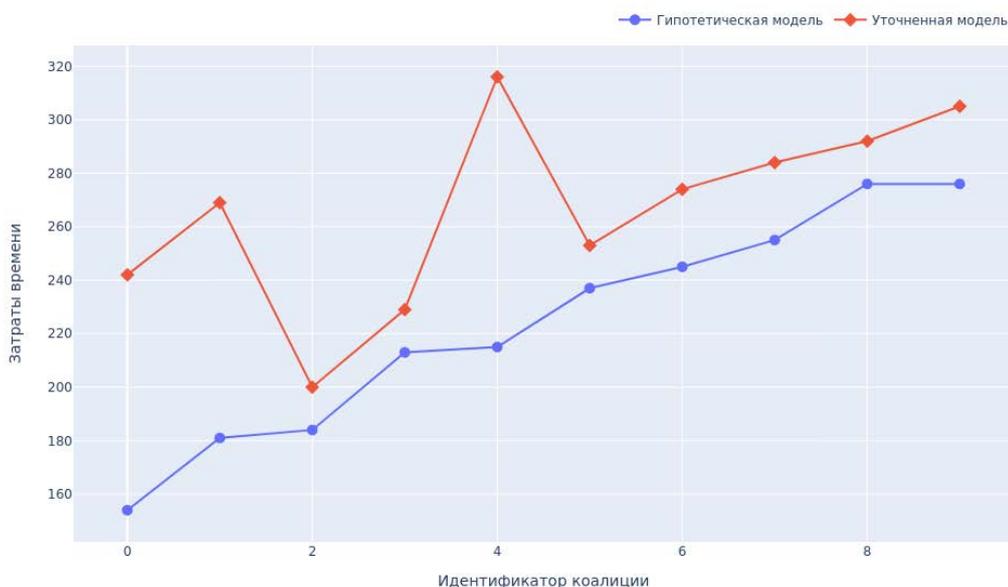


Рис. 6. Сравнение затрат времени (в минутах) коалиций, построенных с использованием гипотетической и уточненной информационной модели в зависимости от порядка вычисления коалиции участников процесса госпитализации

При этом также растут затраты времени на госпитализацию каждого следующего пациента (Рис. 6). Как и в случае с ростом затрат, это связано с расходом ресурсов системы здравоохранения, поскольку каждая следующая коалиция формируется с учетом изменений, вызванных ранее сформированными коалициями.

Значительное увеличение времени обработки некоторых пациентов (Рис. 6), объясняется тем, что в гипотетической модели вес человеческих факторов был сопоставим с весами ограничений ресурсов системы здравоохранения, из-за чего не учитывалась в полной мере степень влияния человеческих факторов и их

социальный эффект на время и стоимость госпитализации. Результаты уточненной модели лучше согласуются со статистикой госпитализаций, на основе которой был сгенерирован набор данных. При этом оперативность принятия решений возросла на 22 % (с 800 мс в среднем для 1000 участников для 10 повторных запусков до 620 мс).

Заключение

В ходе исследования было проведено уточнение информационной модели, лежащей в основе СППСОРГ в условиях эпидемии. Уточнение проводилось из предположения, что человеческие факторы, такие, как пол и возраст врача, пациента, день недели и время суток могут существенно влиять на принятие решения и, соответственно, стоимость госпитализации. В результате обработки данных пандемии COVID-19 было выявлено, что человеческие факторы в значительной степени определяют параметры госпитализации в условиях пандемии, а на временные и количественные показатели оказывают влияние как индивидуальные, так и общие факторы. При автоматизации процесса госпитализации в условиях ограниченных ресурсов системы здравоохранения необходимо учитывать устойчивые показатели неравномерности вызовов СМП по дням недели и времени суток, обусловленные психологическими установками пациентов и врачей поликлиник в условиях пандемии. В силу данной неравномерности следует дополнительно рассмотреть возможность перераспределения существующих бригад скорой помощи для учета пиковых нагрузок по дням недели и времени суток.

Для прогнозирования временных затрат на принятие решения врачом СМП о госпитализации наибольшее значение имеет возраст пациентов. Корпоративная культура госпиталей и станций скорой медицинской помощи в целом, а не только наличие материальных и человеческих ресурсов, обуславливают время приема пациентов в госпитале. Априорное отнесение конкретного госпиталя к определенной группе по этому показателю дает возможность оптимизировать маршрутизацию при госпитализации и раскрывает перспективы для формирования корпоративной культуры, позволяющей

минимизировать время приема пациентов в условиях пандемии. Из последнего также можно сделать вывод, что госпитали, в которых время приема пациентов велико по причине корпоративной культуры, нуждаются в пересмотре регламентов действий при поступлении пациента.

Выявленные факторы были использованы для уточнения информационной модели СППСОРГ и экспериментально проверены для оценки влияния на получаемые решения. Было выявлено, что учет человеческих факторов в модели существенно изменяет оценку времени и стоимости госпитализации за счет того, что включает в себя оценку социального эффекта от госпитализации или отказа от неё. Социальный эффект здесь включает в себя увеличение времени на обработку пациента, на убеждение его пройти или отказаться от госпитализации и оценку возможных «потерь» при сознательном отказе от госпитализации и вероятности ухудшения состояния в будущем.

Литература

1. Patel U. et al. Early epidemiological indicators, outcomes, and interventions of COVID-19 pandemic: A systematic review // *Journal of Global Health*. NLM (Medline), 2020. Vol. 10, № 2. P. 020506.
2. Walters E., Najmabadi S., Platoff E. Texas hospitals are running out of drugs, beds, ventilators and even staff | *The Texas Tribune* [Electronic resource]. URL: <https://www.texastribune.org/2020/07/14/texas-hospitals-coronavirus/> (accessed: 21.12.2020).
3. Stewart W. Dozens of ambulances filled with suspected coronavirus patients wait hours outside Moscow hospitals | *Daily Mail Online* [Electronic resource]. URL: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8211727/Dozens-ambulances-filled-suspected-coronavirus-patients-wait-hours-outside-Moscow-hospitals.html> (accessed: 21.12.2020).
4. Hendricks D. With hospitals full of coronavirus patients, ambulances wait hours for beds to become available [Electronic resource]. URL: <https://www.krgv.com/news/with-hospitals-full-of-coronavirus-patients-ambulances-wait-hours-for-beds-to-become-available/> (accessed: 21.12.2020).
5. Yeo K.T. et al. Review of guidelines and recommendations from 17 countries highlights the challenges that clinicians face caring for neonates born to mothers with COVID-19 // *Acta Paediatrica*, International Journal of Paediatrics. Blackwell Publishing Ltd, 2020. Vol. 109, № 11. P. 2192–2207.
6. Cabello I.R. et al. Impact of viral epidemic outbreaks on mental health of healthcare workers: a rapid systematic

- review // medRxiv. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2020. Vol. 4, № 6. P. 2020.04.02.20048892.
7. Montemurro N. The emotional impact of COVID-19: From medical staff to common people // *Brain, Behavior, and Immunity*. Academic Press Inc., 2020. Vol. 87. P. 23–24.
 8. Зуенко А.А. et al. Применение технологии программирования в ограничениях для планирования действий в чрезвычайных ситуациях // *Информационные технологии и вычислительные системы*. Federal Investigation Centre for Information and Control, 2019. Vol. 1. P. 26–37.
 9. Смирнов А.В., Молл Е.Г., Тесля Н.Н. Использование нечетких коалиционных игр при принятии социально ориентированных решений при госпитализации в условиях пандемии // *Информатика и автоматизация*. 2021. Vol. 20, № 5. P. 1090–1114.
 10. Макаров В.Л., Бахтязин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). Москва: Экономика, 2013. 295 p.
 11. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. Москва: АНВИК, 1998. 432 p.
 12. Thaddeus S., Maine D. Too far to walk: maternal mortality in context // *Social science & medicine* (1982). Soc Sci Med, 1994. Vol. 38, № 8. P. 1091–1110.
 13. Roy D., Sinha K. Cognitive biases operating behind the rejection of government safety advisories during COVID19 Pandemic // *Asian Journal of Psychiatry*. Elsevier B.V., 2020. Vol. 51. P. 102048.
 14. Garfin D.R., Silver R.C., Holman E.A. The novel coronavirus (COVID-2019) outbreak: Amplification of public health consequences by media exposure. // *Health Psychology*. American Psychological Association Inc., 2020. Vol. 39, № 5. P. 355–357.
 15. Dzogang F., Lightman S., Cristianini N. Diurnal variations of psychometric indicators in twitter content // *PLoS ONE*. Public Library of Science, 2018. Vol. 13, № 6.
 16. Wynants L. et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of covid-19: systematic review and critical appraisal // *BMJ*. British Medical Journal Publishing Group, 2020. Vol. 369. P. 26.
 17. Pappa S. et al. Prevalence of depression, anxiety, and insomnia among healthcare workers during the COVID-19 pandemic: A systematic review and meta-analysis // *Brain, behavior, and immunity*. Brain Behav Immun, 2020. Vol. 88. P. 901–907.
 18. American Psychiatric Association. New Poll: COVID-19 Impacting Mental Well-Being: Americans Feeling Anxious, Especially for Loved Ones; Older Adults are Less Anxious. // <https://www.psychiatry.org/newsroom/news-releases/new-poll-covid-19-impacting-mental-well-being-americans-feeling-anxious-especially-for-loved-ones-older-adults-are-less-anxious>. 2020.
 19. Batty G.D. et al. Psychosocial factors and hospitalisations for COVID-19: Prospective cohort study based on a community sample // *Brain, behavior, and immunity*. Brain Behav Immun, 2020. Vol. 89. P. 569–578.
 20. Первушина О.Н., Фёдоров А.А., Дорошева Е.А. Переживание пандемии COVID-19 и толерантность к неопределенности // *Reflexio*. 2020. Vol. 13, № 1. P. 5–20.
 21. Задворная О.Л., Алексеев В.А., Борисов К.Н. Формирование и развитие культуры медицинских организаций // *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. Publishing House Science, 2016. Vol. 7, № 3(27). P. 142–149.
 22. Смирнов А.В., Тесля Н.Н. Выбор эффективных стратегий действий участников процесса госпитализации с использованием нечеткой кооперативной игры и генетического алгоритма // *Информационно-управляющие системы*. State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), 2022. № 2. P. 42–52.

Смирнов Александр Викторович. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), Санкт-Петербург. Руководитель лаборатории, главный научный сотрудник, д.т.н., профессор. Количество печатных работ: более 350. Область научных интересов: управление знаниями, веб-сервисы, системы интеллектуальной поддержки принятия решений, социо-киберфизические системы. E-mail: smir@iias.spb.su

Молл Елена Георгиевна. АНО Европейский центр подготовки руководителей "ЦНПР"ММК". Директор, доктор психологических наук, профессор. Количество печатных работ: более 90. Область научных интересов: психология ИКТ, организационное поведение, управление карьерой, корпоративная культура, лидерство. E-mail: zeba.moll@yandex.ru

Тесля Николай Николаевич. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН), Санкт-Петербург. С.н.с., к.т.н. Количество печатных работ: более 80. Область научных интересов: управление знаниями, человеко-машинное взаимодействие, онтологии, интеллектуальные пространства, инфомобильность, технологии распределенных реестров. E-mail: teslya@iias.spb.su

Consideration of Human Factors Influence on the Process of Socially-Oriented Decisions Making During Hospitalization in an Epidemic

A. V. Smirnov¹, E. G. Moll², N. N. Teslya¹

¹ St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St.Petersburg, Russia

² ANO European Management Training Center "ECMD MMK", St.Petersburg, Russia

Abstract. When making socio-oriented decisions for the hospitalization of patients in difficult epidemiological conditions, it is necessary to take into account a large number of parameters that describe the current situation, the sources of which are the participants in the hospitalization process. However, a large number of parameters significantly complicates the model and increases the decision time. The paper presents an analysis of the significance of human factors for the decision-making process and their use to refine the information model of a cooperative game that describes the process of hospitalization. The architecture of the socially-oriented decision-making support system during hospitalization in a difficult epidemiological situation is presented, which describes the interaction of the main participants in the process and the main program blocks of the system. The results of testing the refined information model show an increase in the quality of decision-making by increasing the importance of factors influencing decision-making, as well as a greater variability of decisions by taking into account human factors.

Keywords: hospitalization, model, human factors, cooperative game, architecture.

DOI 10.14357/20718632220308

References

1. Patel U. et al. Early epidemiological indicators, outcomes, and interventions of COVID-19 pandemic: A systematic review // *Journal of Global Health*. NLM (Medline), 2020. Vol. 10, № 2. P. 020506.
2. Walters E., Najmabadi S., Platoff E. Texas hospitals are running out of drugs, beds, ventilators and even staff | *The Texas Tribune* [Electronic resource]. URL: <https://www.texastribune.org/2020/07/14/texas-hospitals-coronavirus/> (accessed: 21.12.2020).
3. Stewart W. Dozens of ambulances filled with suspected coronavirus patients wait hours outside Moscow hospitals | *Daily Mail Online* [Electronic resource]. URL: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8211727/Dozens-ambulances-filled-suspected-coronavirus-patients-wait-hours-outside-Moscow-hospitals.html> (accessed: 21.12.2020).
4. Hendricks D. With hospitals full of coronavirus patients, ambulances wait hours for beds to become available [Electronic resource]. URL: <https://www.krgv.com/news/with-hospitals-full-of-coronavirus-patients-ambulances-wait-hours-for-beds-to-become-available/> (accessed: 21.12.2020).
5. Yeo K.T. et al. Review of guidelines and recommendations from 17 countries highlights the challenges that clinicians face caring for neonates born to mothers with COVID-19 // *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics*. Blackwell Publishing Ltd, 2020. Vol. 109, № 11. P. 2192–2207.
6. Cabello I.R. et al. Impact of viral epidemic outbreaks on mental health of healthcare workers: a rapid systematic review // *medRxiv*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2020. Vol. 4, № 6. P. 2020.04.02.20048892.
7. Montemurro N. The emotional impact of COVID-19: From medical staff to common people // *Brain, Behavior, and Immunity*. Academic Press Inc., 2020. Vol. 87. P. 23–24.
8. Zuenko A.A., Yakovlev S. Yu., Shemyakin A.S., Oleynik Yu. A. Application of constraint programming technology for planning action in emergency situations [Primenenie tehnologii programmirovaniya v ogranichenijah dlja planirovaniya dejstvij v chrezvychajnyh situacijah] // *Journal of Information Technologies and Computing Systems*. Federal Investigation Centre for Information and Control, 2019. № 1. P. 26–37. (In Russ.)
9. Thaddeus S., Maine D. Too far to walk: maternal mortality in context // *Social science & medicine* (1982). *Soc Sci Med*, 1994. Vol. 38, № 8. P. 1091–1110.
10. Makarov V. L., Bahtyzin A. R. Social modeling - a new computer breakthrough (agent-based models) [Socialnoe modelirovanie – novyj kompyuternyj proryv (agent-orientirovannye modeli)]. Moscow: Economis, 2013. 295 p. (In Russ.)
11. Emelyanov V.V., Yasinovsky S.I. Introduction to intelligent simulation modeling of complex discrete systems and processes. RDO language [Vvedenie v intellektual'noe imitacionnoe modelirovanie slozhny'x diskretny'x sistem i processov. Yazyk RDO]. Moscow. ANVIK, 1998. 432 p.
12. Smirnov A., Moll E., Teslya N. Use of Fuzzy Coalition Games in Socially Oriented Decision Making During

- Hospitalization in Pandemic [Ispol'zovanie nechetkih koalitsionnyh igr pri prinjatii social'no orientirovannyh reshenij pri gospitalizacii v usloviyah pandemii] // Informatics and Automation. 2021. № 5 (20). С. 1090-1114. (In Russ.)
13. Roy D., Sinha K. Cognitive biases operating behind the rejection of government safety advisories during COVID19 Pandemic // Asian Journal of Psychiatry. Elsevier B.V., 2020. Vol. 51. P. 102048.
 14. Garfin D.R., Silver R.C., Holman E.A. The novel coronavirus (COVID-2019) outbreak: Amplification of public health consequences by media exposure. // Health Psychology. American Psychological Association Inc., 2020. Vol. 39, № 5. P. 355–357.
 15. Dzogang F., Lightman S., Cristianini N. Diurnal variations of psychometric indicators in twitter content // PLoS ONE. Public Library of Science, 2018. Vol. 13, № 6.
 16. Wynants L. et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of covid-19: systematic review and critical appraisal // BMJ. British Medical Journal Publishing Group, 2020. Vol. 369. P. 26.
 17. Pappa S. et al. Prevalence of depression, anxiety, and insomnia among healthcare workers during the COVID-19 pandemic: A systematic review and meta-analysis // Brain, behavior, and immunity. Brain Behav Immun, 2020. Vol. 88. P. 901–907.
 18. American Psychiatric Association. New Poll: COVID-19 Impacting Mental Well-Being: Americans Feeling Anxious, Especially for Loved Ones; Older Adults are Less Anxious. // <https://www.psychiatry.org/newsroom/news-releases/new-poll-covid-19-impacting-mental-well-being-americans-feeling-anxious-especially-for-loved-ones-older-adults-are-less-anxious>. 2020.
 19. Batty G.D. et al. Psychosocial factors and hospitalisations for COVID-19: Prospective cohort study based on a community sample // Brain, behavior, and immunity. Brain Behav Immun, 2020. Vol. 89. P. 569–578.
 20. Pervushina O.N., Fedorov A.A., Dorosheva E.A. Coping with the COVID-19 pandemic and tolerance for uncertainty [Perezhivanie pandemii COVID-19 i tolerantnost' k neopredelennosti] // Reflexio. 2020. Vol. 13, № 1. P. 5–20. (In Russ)
 21. Zadornaya O. L., Alekseev V., Borisov K. The formation and development of corporate culture of the medical organizations [Formirovanie i razvitie kul'tury medicinskih organizacij]. MIR (Modernization. Innovation. Research). 2016; 7(3(27)):142-149. (In Russ.) <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2015.7.3.142.149>.
 22. Smirnov A., Teslya N. Selecting effective action strategies for the participants in a hospitalization process with the use of a fuzzy cooperative game and a genetic algorithm [Vybor jeffektivnyh strategij dejstvij uchastnikov processa gospitalizacii s ispol'zovaniem nechetkoj kooperativnoj igry i geneticheskogo algoritma] // Information and Control Systems. 2022. № 2. Pp. 42-52 (In Russ).

Smirnov A. V. Dr.Habil. Professor. St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 39, 14 Line, St.Petersburg, 199178, Russia. E-mail: smir@iias.spb.su

Moll E. G. Dr.Habil., Professor, Director, ANO European Management Training Center "ECMD MMK". E-mail: zeba.moll@yandex.ru

Teslya N. N. PhD. St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 39, 14 Line, St. Petersburg, 199178, Russia. E-mail: teslya@iias.spb.su