

А.В. Смирнов, Е.Г. Молл, Н.Н. Тесля
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ КОАЛИЦИОННЫХ ИГР ПРИ
ПРИНЯТИИ СОЦИАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ РЕШЕНИЙ
ПРИ ГОСПИТАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ**

Смирнов А.В., Молл Е.Г., Тесля Н.Н. Использование нечетких коалиционных игр при принятии социально ориентированных решений при госпитализации в условиях пандемии.

Аннотация. Проблемы организации медицинской помощи в условиях пандемии COVID-19, связанных с неопределенностью и ограниченностью различных ресурсов, привели к необходимости совершенствования систем принятия решений при госпитализации пациентов. С помощью ситуационного управления можно улучшить процесс принятия решений, чтобы он лучше соответствовал текущей ситуации. При этом важным становится учет влияния психологических факторов на решения, принимаемые при госпитализации. В статье предлагается использование коалиционных игр для ситуационного управления при госпитализации больных. Игроками и участниками коалиции являются госпитали, бригады скорой помощи, пациенты и центры компьютерной томографии. Цель игры - сформировать коалицию участников, обеспечивающую максимальную выгоду по времени и стоимости госпитализации в момент принятия решения. Рассмотрены общая схема госпитализации, основные источники информации о ситуации, постановка и формализация проблемы. Проведен эксперимент, в котором проверялось формирование коалиции во время госпитализации на основе данных, полученных при анализе динамики пандемии COVID-19. В связи с малым объемом данных и отсутствием апробированных моделей развития ситуации при проведении расчета часть параметров была оценена с использованием эвристических моделей развития ситуации, основанных на анализе информации из открытых источников информации. Результат эксперимента содержит набор коалиций, обеспечивающих максимальную выгоду при указанных ограничениях. При этом время расчета коалиционной игры позволяет использовать предложенную модель поддержки принятия решений при госпитализации в диспетчерской службе станций скорой помощи.

Ключевые слова: госпитализация, принятие решений, пандемия, нечеткие множества, коалиционная игра.

1. Введение. Любая эпидемия требует от сектора здравоохранения максимально эффективной организации и консолидации ресурсов для борьбы с ней. В случае заболеваний с длительной историей, таких, как грипп, туберкулез, MERS, SARS, к настоящему времени уже разработаны и испытаны решения, снижающие негативное воздействие как с точки зрения смертности, так и с точки зрения общего воздействия на экономику и функционирование государства. Эти решения включают диагностику заболевания, госпитализацию, протоколы лечения с учетом большого количества возможных вариаций и осложнений. Однако эпидемия коронавируса COVID-19 показала, что при появлении ранее неизвестного заболевания имеющихся стандартных

решений может быть недостаточно, и во многих случаях требуется быстрое принятие принципиально новых решений на основе не только имеющегося опыта, но и анализа текущей ситуации.

В этой работе основное внимание уделяется госпитализации пациента в условиях неопределенности, вызванной пандемией. Для формирования решений, согласующихся с оперативной ситуацией предлагается учитывать влияние неопределенности на психологическое состояние человека, поскольку, согласно исследованиям, в условиях неопределенности и постоянного стресса могут допускаться ошибки при принятии решения о госпитализации [1]. В качестве подтверждения данного тезиса можно рассмотреть пример двух европейских стран, которые одними из первых столкнулись со вспышкой коронавируса. В Испании (рис. 1) после получения первых данных о COVID-19 массовая госпитализация была предпринята еще до роста количества подтвержденных случаев [2]. Как известно из данных, доступных в открытом доступе, это привело к серьезной перегрузке системы здравоохранения и увеличению общей смертности, в том числе от COVID-19 [3]. График также показывает, что во время второй волны был учтен опыт первой и количество госпитализаций было значительно меньше, что также оказало положительное влияние на динамику смертности. Кардинально противоположная ситуация наблюдалась в тот же период в Германии. Имеющиеся данные показывают, что несмотря на развитую систему здравоохранения, количество госпитализаций в Германии было значительно меньше, чем в Испании, что позволило системе здравоохранения адекватнее реагировать на пандемию, что выражается в низкой смертности от COVID-19 (рис. 2) [2]. Сравнивая общий стресс в первой и второй волнах, можно увидеть, что при правильном ведении и принятии обоснованных решений о госпитализации общее психологическое состояние как врачей, так и пациентов позволяет им более адекватно реагировать на решение о госпитализации.

При отсутствии готовых решений становится актуальным поддержка принятия решений с учетом контекста текущей ситуации. В статье предлагается рассмотреть одну из задач, связанную с поддержкой принятия решения о госпитализации пациентов во время пандемии. Подход, предлагаемый для решения данной задачи, основан на использовании теории кооперативных игр [4], где игроками являются пациенты, машины скорой помощи, госпитали и центры компьютерной томографии. Решением игры является коалиция игроков, обеспечивающая максимальную выгоду по времени и стоимости госпитализации.

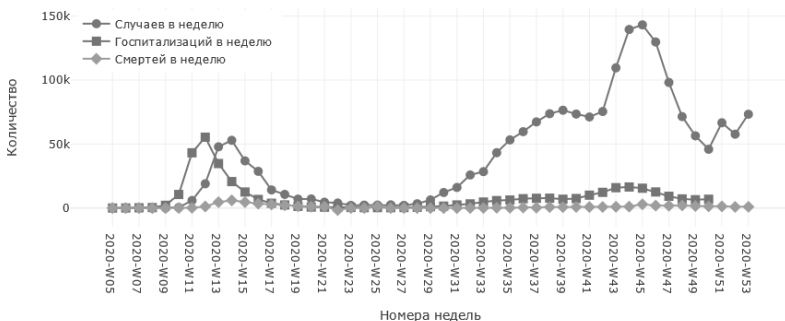


Рис. 1. Динамика распространения коронавирусной инфекции в Испании

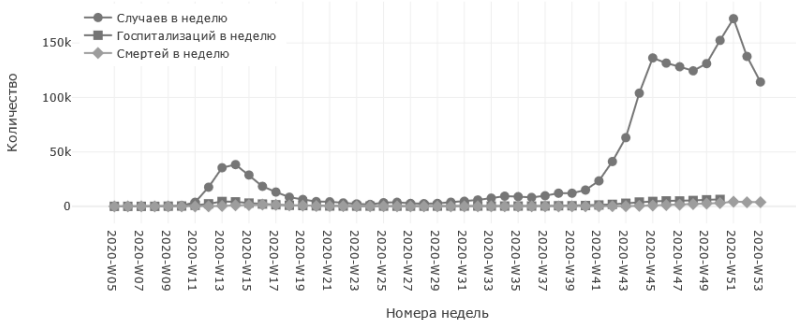


Рис. 2. Динамика распространения коронавирусной инфекции в Германии

Расчет каждой игры происходит как на основе количественных параметров, таких как наличие свободных мест (коек) в госпитале, среднее время госпитализации, количество машин скорой помощи, стоимость лечения, так и качественных параметров, связанных с психологическими факторами поведения пациентов, диспетчеров скорой помощи и медицинского персонала. Для расчета игры используется нечеткая функция принадлежности игрока к коалиции, позволяющая учесть нечеткую формализацию параметров игроков, связанных с динамикой психологического состояния при выборе стратегий их действия.

Статья построена следующим образом. Раздел 2 описывает текущее состояние исследований по использованию информационных технологий для поддержки управления ситуацией и принятия решений в здравоохранении. В разделе 3 описана постановка проблемы госпитализации в условиях пандемии с учетом психологических факторов для пациентов, бригад машин скорой помощи, медицинского персона-

ла и персонала центра компьютерной томографии и проведен анализ данных по госпитализации, предоставленных СПб МИАЦ. Раздел 4 содержит формализацию коалиционной игры для процесса госпитализации и параметры, которые следует учитывать при принятии соответствующего решения. В разделе 5 приводится пример формирования коалиции с коалиционной игрой, использующий эвристики для расчета физического и психологического состояния пациента. В заключительном разделе дается общий вывод и направления дальнейшей работы.

2. Текущее состояние исследований. Использование информационных технологий в здравоохранении в настоящее время является активным и перспективным направлением исследований. Спектр их применения очень широк: от хранения медицинских карт, в которых содержатся все параметры пациента и его история здоровья [5], до использования искусственного интеллекта при выявлении диагнозов и поиска лекарств от конкретного заболевания у конкретного пациента [6-7].

В последние годы значительные прорывы были также сделаны в области телемедицины. Разработаны компактные носимые устройства, оснащенные датчиками для измерения основных жизненно важных параметров (частота сердечных сокращений, артериальное давление, сатурация крови кислородом, компактные устройства ЭКГ и др.) [8], параметров физической активности (фитнес-трекеры) [9], а также информационные системы для сферы здравоохранения, собирающие и анализирующие данные с носимых устройств. Развитие систем видеосвязи обеспечило возможность дистанционного осмотра и консультации лечащего врача (телемедицина). Получив доступ к накопленной информации, а также при наличии качественного канала связи с пациентом, врач может без вреда для своего здоровья оказать помощь, не требующую физического контакта, или удаленно проконсультировать родственников или опекунов больного по необходимым физическим манипуляциям, и сформировать рекомендации по лечению или поддержанию здоровья [10]. Ожидается, что использование носимых устройств также окажет значительную помощь в текущей ситуации с коронавирусом [11-12].

Поддержка принятия решений о госпитализации в условиях пандемии включает анализ регуляторов поведения человека в контексте эпидемий и пандемий. Координация решений сосредоточена во круг влияния регуляторов поведения в COVID-19, которые включают юридические (жестко фиксированные, общеобязательные), организационные и профессиональные (положения, правила, принятые в опре-

деленном профессиональном сообществе), организационные и культурные нормы (подразумеваются, характеристика отдельных организаций, например, госпиталей и служб), а также индивидуальные нормы (моральные и психологические). Правовые нормы проще всего формализовать в виде теоретико-множественной или логической модели. Анализ организационных и профессиональных норм требует дополнительных исследований, поскольку некоторые из них носят рекомендательный характер и могут иметь различное толкование. Например, Британская медицинская ассоциация (ВМА) опубликовала этические принципы в отношении пандемии COVID-19. Все решения о распределении ресурсов должны быть «разумными при любых обстоятельствах, основанными на наилучших доступных клинических данных и суждениях, основанных на четких этических принципах и обоснованиях, лучше всего согласованных заранее, учитывая, что эти решения могут потребовать срочного пересмотра в меняющихся обстоятельствах» [13].

Использование нечеткой логики и кооперативных игр для описания взаимодействия участников коалиции - относительно новый подход, который, однако, показал свою эффективность в задачах конфигурации цепочки поставок [14] и формирования коалиции [15]. С медицинской точки зрения аппарат нечеткой логики и кооперативных игр может быть использован для оценки эффективности госпиталей [16]. Эффективность этой работы оценивается по большому количеству параметров, в том числе по количеству и качеству персонала (врачи, медсестры, вспомогательный персонал), количеству коек, количеству операций, затратам на лечение и обслуживание.

3. Постановка проблемы. Формальные модели, предназначенные для решения задач распределения ресурсов, на практике часто неприменимы, поскольку не учитывают человеческий фактор, который во многом влияет на результаты работы системы поддержки принятия решений о госпитализации в условиях пандемии.

В исследованиях, проводимых в контексте пандемии COVID-19, отмечается, что основное влияние на людей оказывает незавершенность угрожающей ситуации, а также фиксируется кумулятивный характер стрессового воздействия [1]. Неблагоприятными фоновыми факторами для всех участников процесса принятия решений являются тревожность, страх заражения, вынужденная изоляция от членов семьи [17], нарастание тревожности и депрессивных состояний [18]. На поведение пациентов влияют стресс, страх, депрессия, вызванные самим заболеванием и его тяжестью; а также стрессом, связанным с «кризисом здоровья» [19], который, во многом, обусловлен распро-

странением угрожающей, эмоциональной информации о невидимой угрозе, которая приводит к постоянному обращению людей к ее источникам, вызывает сомнения в том, что в этих условиях можно рассчитывать на полноценное и качественное медицинское обслуживание. Отсутствие средств защиты, проблемы с адекватным лечением, а также чисто человеческий фактор - переутомление, напряжение, тревога и профессиональное выгорание медицинского персонала [18, 20, 21] вызывают негативные эмоциональные состояния.

Процесс принятия решения о госпитализации требует предварительного сбора и обработки большого количества информации. Один из сценариев ситуационного управления во время госпитализации представлен на рисунке 3. На этом рисунке показана схема госпитализации, рекомендованная Департаментом здравоохранения Москвы в случае экстренного вызова пациента с симптомами COVID-19. На диаграмме показан не только протокол взаимодействия с пациентом и путь его обработки от постановки диагноза до госпитализации, но и взаимодействие с потенциально инфицированными людьми.

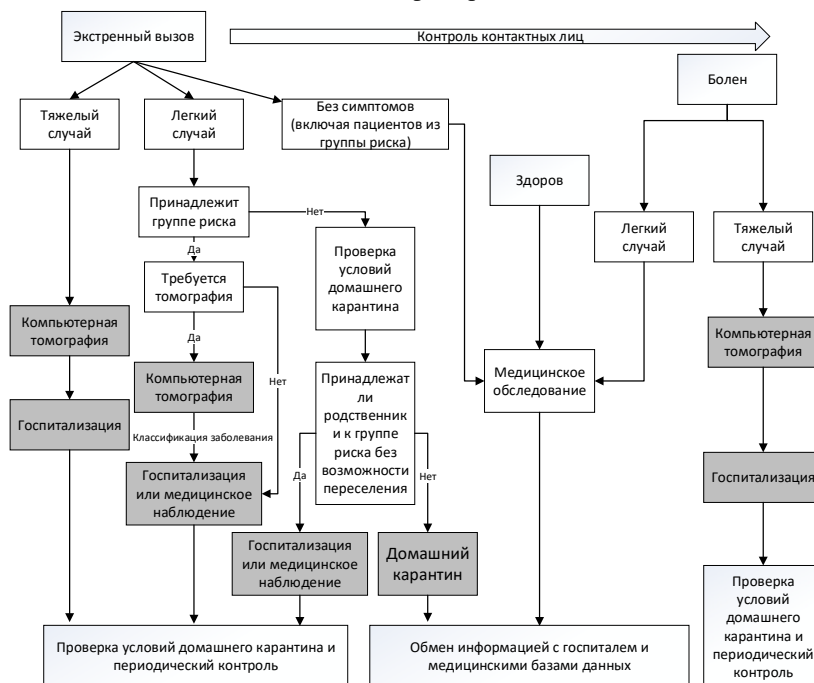


Рис. 3. Схема госпитализации пациентов с коронавирусной инфекцией, согласно рекомендациям Департамента здравоохранения г. Москва [22]

В каждом случае следует принимать взвешенное решение о госпитализации (на рисунке момент принятия решения показан серыми прямоугольниками). При этом, для каждого пациента необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на окончательное решение о госпитализации:

1. Неравномерное распределение вызовов в службы экстренной помощи и госпитализаций по дням недели и времени суток, что, во многом, зависит от принятия решений пациентами и членами их семей.

2. Влияние ситуации на поведение медицинского персонала и пациентов в условиях неоднозначности описательных норм, то есть их видения того, как большинство окружающих их людей ведет себя или будет вести себя в таких условиях [23].

3. Особенно важно учитывать временные аспекты при принятии диагностических решений, поскольку при работе с новыми заболеваниями медицина становится плохо структурированной областью знаний. Это создает серьезные трудности при построении систем, связанных с процессами принятия решений. Как отмечают эксперты, «с одной стороны, врачи первичного звена не верят своим диагнозам, с другой - они соответствуют менталитету населения: пациенты требуют, чтобы они получали медицинские услуги в полном объеме и хотят дополнительно обследоваться в компьютерном томографе или быть госпитализированы» [24]. Следует учитывать факторы, влияющие на эффективность совместного принятия решений врачом и пациентом [25].

4. Существенным фактором, определяющим время приема пациентов в приемных покоях госпиталей, являются особенности корпоративной культуры медицинского учреждения, отражающие уровень их адаптации к условиям пандемии. В этом контексте можно предположить, что распределение госпиталей на три категории (три уровня адаптации к пандемии - высокий, средний и низкий) будет достаточным.

5. Особенности принятия решений в зависимости от характеристик пациентов. Врачи службы скорой помощи сталкиваются с «паническими» пациентами, количество которых в зависимости от общей ситуации составляет от 16% до 29%. Также учитываются возрастные особенности. Исследования в США во время первой волны пандемии показали, что молодые люди переоценивают риски COVID-19 для себя и других по сравнению со старшим поколением, что было интерпретировано как шок для молодежи [26].

Для проверки гипотез были собраны данные по госпитализациям с диагнозом COVID-19 в Санкт-Петербурге за период с 1.11.2020 по 31.12.2020. Эти данные включают в себя общую статистику по госпитализациям, а также детализацию по трем станциям скорой помощи. На рисунке 4 представлен график госпитализаций по Санкт-Петербургу, согласно данным, предоставленным СПб МИАЦ. Вертикальные линии отмечают начало недели (понедельник). Наглядно видна неравномерность распределения вызовов по дням недели. Это подтверждается и статистическим анализом, результаты которого представлены на рисунке 5 и в таблице 1. При анализе результатов, представленных в таблице 1 видно, что наименьшее количество госпитализаций в Санкт-Петербурге наблюдается в понедельник и воскресенье. При этом пик госпитализаций приходится на четверг.

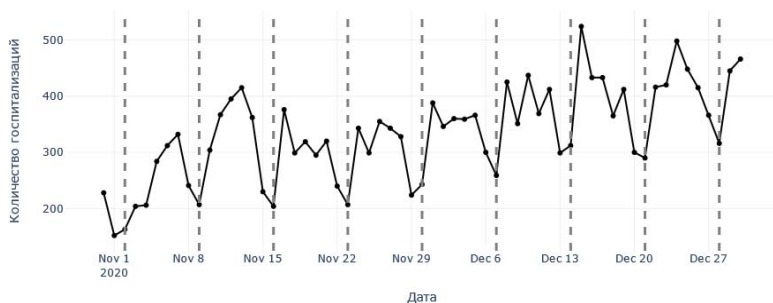


Рис. 4. Количество госпитализаций по дням недели в г. Санкт-Петербург за период 01.11 – 31.12.2020

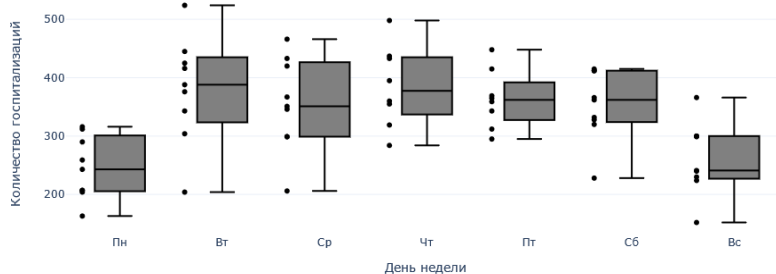


Рис. 5. Количество госпитализаций по дням недели в г. Санкт-Петербург за период 01.11 – 31.12.2020

Данные от станций скорой помощи содержат в себе дополнительную обезличенную информацию о поставленных диагнозах и характеристиках, включая время на принятие решения. Всего было получено 548 записей о гос-

питализациях по трем станциям скорой помощи. Далее представлен анализ зависимости времени принятия решения от пола, возраста и модели пациента (рис. 6-8).

Таблица 1. Статистические показатели госпитализации по дням недели

| | Пн | Вт | Ср | Чт | Пт | Сб | Вс |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Количество | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 8.0 | 8.0 | 9.0 | 9.0 |
| Среднее | 244.55 | 380.55 | 354.11 | 385.13 | 363.25 | 352.78 | 261.33 |
| СКО | 53.67 | 91.16 | 80.11 | 69.65 | 50.16 | 60.04 | 61.81 |
| min значение | 163.0 | 204.0 | 206.0 | 284.0 | 295.0 | 228.0 | 152.0 |
| 25% квартиль | 207.0 | 343.0 | 299.0 | 346.0 | 335.25 | 328.0 | 230.0 |
| 50% квартиль | 243.0 | 388.0 | 351.0 | 377.5 | 362.0 | 362.0 | 241.0 |
| 75% квартиль | 290.0 | 425.0 | 420.0 | 434.0 | 380.5 | 412.0 | 300.0 |
| max значение | 316.0 | 524.0 | 466.0 | 498.0 | 448.0 | 415.0 | 366.0 |
| % от min знач. | 0 | 55.61 | 44.80 | 57.48 | 48.53 | 44.25 | 6.86 |

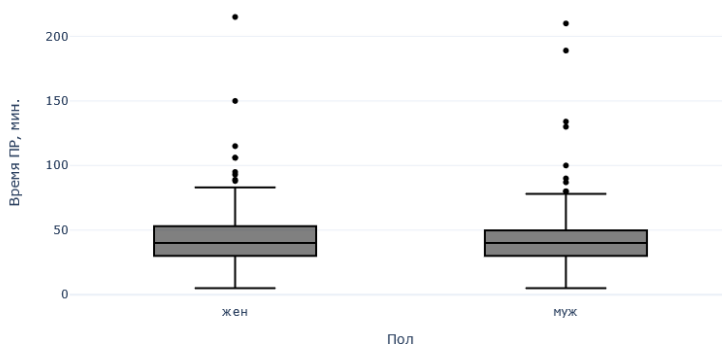


Рис. 6. Распределение времени принятия решения в зависимости от пола пациентов

На графиках видно, что пол и модель пациента практически не влияют на время принятия решения. Под моделью пациента в данном случае понимается комплексное описание состояния пациента, полученное по результатам осмотра [27]. Однако, что касается возрастной группы, то в ней наблюдается связь между временем принятия решения и возрастом. Множество пациентов можно разбить на 6 равных возрастных групп от 20 до 100 лет (0: [20-30), 1: [30-40), 2: [40-50), 3: [50-60), 4: [60-70), 5: [80-90), 6: [90-100)). На рисунке 8, с учетом такого

разбиения видно, что время принятия решения растет с увеличением возраста пациента, что должно быть принято во внимание при формировании описания кооперативной игры.

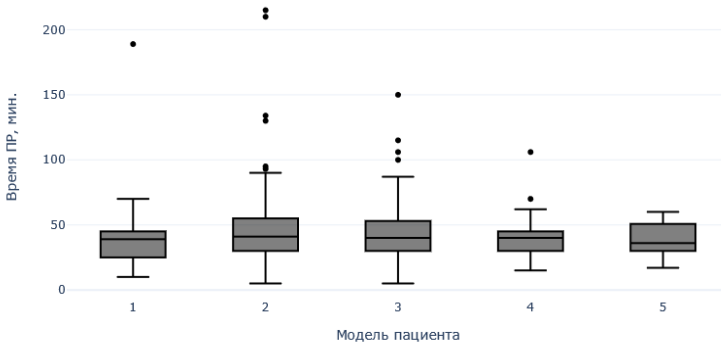


Рис. 7. Распределение времени принятия решения в зависимости от модели пациентов

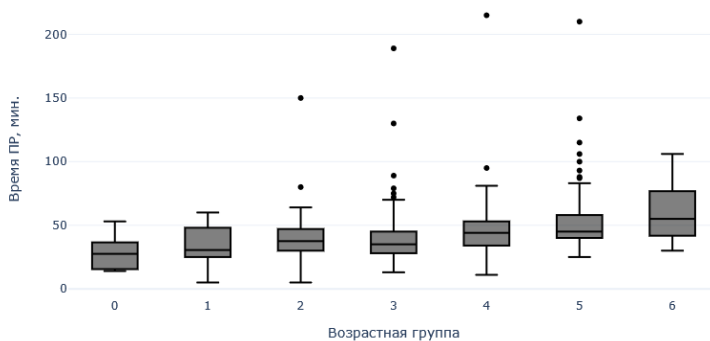


Рис. 8. Распределение времени принятия решения в зависимости от возрастной группы пациентов

Дополнительно был проведен анализ госпиталей относительно времени доставки пациента от места жительства до палаты. Всего было проанализировано 14 госпиталей. Результаты представлены на рисунке 9. По рисунку 9 видно, что госпитали могут быть разделены на три группы в зависимости от среднего времени доставки пациентов: от 0 до 100 минут, от 100 до 200 и от 200 до 300 минут.

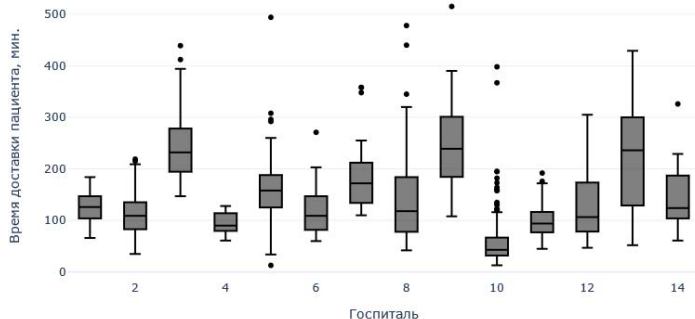


Рис. 9. Распределение госпиталей по времени доставки пациента

С учетом полученных результатов можно сформировать модель влияния человеческих факторов на принятие решения о госпитализации (рис. 10).

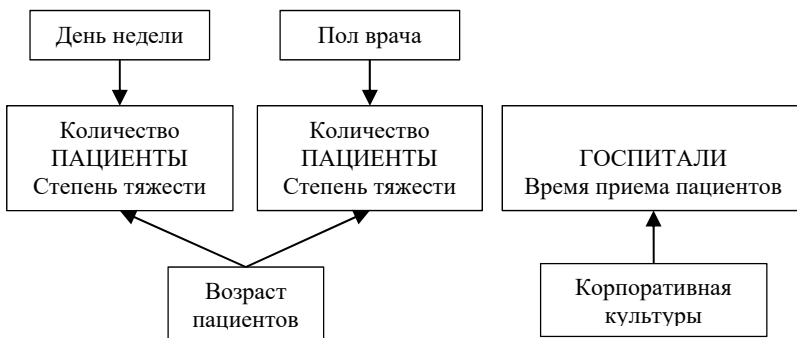


Рис. 10. Влияние человеческого фактора на принятие решения о госпитализации

4. Использование нечеткой кооперативной игры при госпитализации. В этом разделе рассматривается кооперативная игра для поддержки принятия решений при госпитализации в условиях пандемии. В кооперативной игре участвуют пациенты, машины скорой помощи, госпитали и центры компьютерной томографии. При старте расчета формируется набор параметров, которые становятся исходными данными для вычисления характеристической функции коалиции. Решение, полученное в ходе вычисления, будет содержать коалиции игроков, обеспечивающую максимальную выгоду с точки зрения времени и стоимости госпитализации. Также будет определен госпиталь,

в который необходимо доставить пациента, и центр компьютерной томографии, где при необходимости можно будет пройти дополнительное обследование.

Кооперативная игра представляется в виде множества (N, v) , где N – множество игроков, v – характеристическая функция игры (её общий выигрыш). Текущая ситуация описывается при помощи контекста C .

Определим в качестве игроков следующие подмножества: пациенты, нуждающиеся в госпитализации (N^P), персонал машин скорой помощи (N^A), госпитали (N^H), центры компьютерной томографии (КТ) (N^{CT}), $N = N^A \cup N^H \cup N^P \cup N^{CT}$. Для упрощения игры будем считать, что бригада скорой помощи уже прибыла к пациенту и необходимо решить, целесообразно ли проводить компьютерную томографию и выбрать наиболее подходящий центр КТ и госпиталь. У каждого игрока имеется набор стратегий, которые он может выбрать в зависимости от текущей ситуации и собственных поведенческих паттернов, что может рассматриваться как нечеткая функция принадлежности коалиции.

Пациенту соответствуют стратегии (η^P), определяющие согласие или отказ в госпитализации. Для госпиталя определены похожие стратегии (η^H), определяющие согласие или отказ в приеме пациента. Для бригады скорой помощи рассматриваются три стратегии (η^A): оставить пациента дома, транспортировка в центр КТ и транспортировка в госпиталь. Центр КТ описывается двумя стратегиями: (η^{CT}) прием или отказ в приеме пациента. Стратегией коалиции является сочетание стратегий ее членов $\eta_{i,j,k,l} = \{\eta_i, \eta_j, \eta_k, \eta_l\}$, где $i \in P, j \in H, k \in A, l \in CT$.

Функция принадлежности к коалиции (1) определяет вероятность того, будет ли входить участник в состав конкретной коалиции.

$$\eta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.5 \\ 1, & x > 0.5 \end{cases}, \quad (1)$$

где x – вероятность выбора стратегии игроком.

Игра описывается матрицей стоимостей Ω , каждый элемент которой $\omega_{i,j,k,l}$ содержит значение выигрышей участников коалиции i, j, k, l , с заданным набором стратегий.

Введем время обработки пациента $t_{i,j,k,l} = f(C^P, C^H, C^A, C^{CT})$, учитывающее выбранную стратегию $\eta_{i,j,k,l}$. Тогда выигрыш участников коалиции будет вычисляться согласно формуле (2):

$$\omega_{i,j,k,l} = \alpha^P \eta_{i,j,k,l} f^P(C^P, t_{i,j,k,l}, C'^P) + \alpha^H \eta_{i,j,k,l} f^H(C^H, t_{i,j,k,l}, C'^H) + \alpha^A \eta_{i,j,k,l} f^A(C^A, t_{i,j,k,l}, C'^A) + \alpha^{CT} \eta_{i,j,k,l} f^{CT}(C^{CT}, t_{i,j,k,l}, C'^{CT}) \quad (2)$$

где α – весовые коэффициенты. Поясним входящие в (2) параметры. Здесь $\eta_{i,j,k,l} f^P(C^P, t_{i,j,k,l}, C'^P)$ – это функция стоимости для пациента в зависимости от его текущего состояния C^P (физиологического и психологического) и прогнозируемого финального состояния C'^P . В функции также принимается во внимание время принятия решения и работы с пациентом $t_{i,j,k,l}$ при выборе стратегии $\eta_{i,j,k,l}$. Функция (3) расчета стоимости игры для пациента рассчитывается на основе следующих параметров:

$$f^P(C^P, t_{i,j,k,l}, C'^P) = \alpha_1 t + \alpha_2 PHI' + \alpha_3 PSY' \quad (3)$$

где t – прогнозируемое время транспортировки пациента до госпиталя, которое вычисляется как сумма нескольких составляющих: $t = t_{transp_{CT}} + t_{w_{CT}} + t_{proc_{CT}} + t_{transp_H} + t_{w_H} + t_{proc_H}$, среди которых $t_{transp_{CT}}$ – соответствующее времени транспортировки в центр КТ, $t_{w_{CT}}$ – время ожидания в очереди центра КТ, $t_{proc_{CT}}$ – время ожидания заключения специалиста КТ, t_{transp_H} – время транспортировки в госпиталь, t_{w_H} – время ожидания в очереди госпиталя, t_{proc_H} – время, затраченное на прием пациента в госпитале; $PHI' = f^{PHI}(f^{PHI^{-1}}(PHI) - t)$ соответствует прогнозируемому физиологическому состоянию, в котором PHI – обозначает физиологическое состояние, f^{PHI} – эвристическая функция, определяющая физиологическое состояние пациента через некоторое время t , α – весовые коэффициенты функции расчета стоимости. Предлагаемая эвристика оценивает физиологическое состояние пациента на основе основных параметров здоровья, характеризующих течение заболевания (частота сердечных сокращений, частота дыхания,

сатурация крови кислородом, давление, температура тела, возраст), объединяя их в интегральный показатель PHI , определяемый в диапазоне $[0,1]$; $PSY' = f^{PSY}(f^{PSY^{-1}}(PSY, PHI) - t, PHI')$ описывает прогнозируемое психологическое состояние, где PSY – это обозначение психологического состояния, f^{PSY} – эвристическая функция, определяющая психологическое состояние пациента по прошествии времени t . Предлагаемая эвристика оценивает психологическое состояние в диапазоне $[0,1]$. Значение функции зависит от текущего психологического состояния, а также текущего и прогнозируемого физиологического состояния.

Функция $f^H(C^H, t_{i,j,k,l}, C'^H)$ стоимости для госпиталя зависит от текущего состояния C^H (физиологическая и психологическая усталость персонала, запас расходных средств и медикаментов), свободно-го коечного фонда B^H , стоимости содержания и лечения одного пациента $Cost^H$, среднего времени ожидания в очереди на прием t_{wH} и прогнозируемое конечное состояние C'^H . Функция затрат госпиталя (4) определяется с помощью представленных параметров следующим образом:

$$f^H(C^H, t_{i,j,k,l}, C'^H) = Cost^H / B^H (1 + t_{wH}). \quad (4)$$

Также в функции (4) может быть использован тип госпиталя, в зависимости от которого принимается решение о госпитализации или необходимости дополнительного осмотра. Специализированный госпиталь может дообследовать пациента в собственном КТ-центре. В неспециализированный стационар можно принять пациента только при наличии результата компьютерной томографии, сделанной в КТ-центре.

Функция $f^A(C^A, t_{i,j,k,l}, C'^A)$ затрат бригады скорой помощи определяется в зависимости от текущего состояния C^A бригады (психологическая усталость персонала, состояние машины (запас топлива, время до техобслуживания), запас расходных средств), стоимости с учетом времени доставки пациента в КТ центр и в госпиталь $t_{i,j,k,l}$, а также прогнозируемого состояния C'^A . Значение данной функции рассчитывается на основе представленных параметров следующим образом (5):

$$f^A(C^A, t_{i,j,k,l}, C'^A) = \alpha_1 t_{i,j,k,l} + \alpha_2 (t_{i,j,k,l} \cdot Cost^A) + \alpha_3 PSY', \quad (5)$$

где Cost^A - стоимость часа работы бригады скорой помощи (включая затраты на персонал и оборудование); время работы с пациентом: $t_{i,j,k,l} = t_{\text{transp}_{CT}} + t_{w_{CT}} + t_{\text{proc}_{CT}} + t_{\text{transp}_H} + t_{w_H}$; прогнозируемое психологическое состояние бригады скорой помощи: $PSY' = f^{-1}(f(PSY)) - t_{i,j,k,l}$.

Функция $f^{CT}(C^{CT}, t_{i,j,k,l}, C'^{CT})$ стоимости для центра компьютерной томографии показывает зависимость от его текущего состояния C^{CT} (время подготовки к обследованию и время обследования), затраты с учетом времени лечения пациента $t_{\text{proc}_{CT}}$, и прогнозируемое состояние C'^{CT} . Функция стоимости центра КТ (6) определяется с помощью следующих параметров:

$$f^{CT}(C^{CT}, t_{i,j,k,l}, C'^{CT}) = \alpha_1(t_{w_{CT}} + t_{\text{proc}_{CT}}) + \alpha_2(\text{Cost}^{CT})^{-1}, \quad (6)$$

где $t_{w_{CT}}$ - текущее время ожидания в КТ-центре; $t_{\text{proc}_{CT}}$ - время обслуживания одного пациента, включая время подготовки к следующему пациенту, Cost^{CT} - стоимость компьютерной томографии.

В целом, для кооперативной игры характеристическая функция v может быть определена следующим образом (7):

$$v = \max_{m \in M} \omega_m \eta_m, M = \left| N^A \left\| N^H \left\| N^P \left\| N^{CT} \right. \right. \right. \right|, \quad (7)$$

где M - количество возможных комбинаций игроков в игре, которые могут образовать коалицию (количество потенциальных коалиций). Далее рассмотрим описание функций стоимости для каждого из игроков.

5. Пример коалиционной игры. Для экспериментов были сформированы наборы игроков всех типов (пациенты, бригады скорой помощи, госпитали, центры компьютерной томографии). Для каждого игрока параметры были назначены случайным образом, в пределах оценок, полученных при анализе первой волны пандемии. Так, например, время ожидания бригады скорой помощи - от 10 до 20 минут, время в пути до госпиталя составляло от 10 до 240 минут, время обслуживания в приемном покое госпиталя – от 10 до 20 минут.

Для стационара стоимость лечения пациента определялась с учетом оценки, полученной в среднем для госпиталей, обслуживающих COVID-19, и составила 200 тысяч рублей на пациента [28]. Стоимость

компьютерной томографии легких в среднем по КТ-центрам была оценена в 4750 рублей. Вероятность подтверждения повреждения легких составила 30%.

Поскольку единой оценки физического состояния человека не существует, была построена эвристика, учитывающая восприятие физического состояния в зависимости от параметров пульса, частоты дыхания, насыщения кислородом крови, давления, температуры тела, возраст. При прогнозировании развития состояния использовалась обратная функция (8), позволяющая оценить время, в течение которого осуществится изменение физического состояния пациента до указанного значения:

$$f^{PHI^{-1}}(PHI) = \frac{5000 * (PHI + \frac{1}{16})^2}{21} - \frac{100 * (PHI + \frac{1}{16})}{3} + \frac{8}{7} \quad (8)$$

Функция (8) была сформирована в ходе обсуждения с медицинскими экспертами и является предварительным вариантом оценки физического состояния. При её построении были сформированы узловые точки состояний с учетом времени, которое прошло между изменениями физического состояния. Полученные точки были аппроксимированы с использованием ряда Тейлора до достижения точности 10^{-2} . В дальнейшем данная функция будет уточняться с использованием модели пациента.

Значение функции отображается в пять нечетких множеств, описывающих состояние человека. Эти множества соотнесены с лингвистическими переменными «ужасно», «плохо», «нормально», «хорошо», «идеально» и все вместе составляют диапазон $[0,1]$. Для приведения числового значения к лингвистической переменной используется аппарат нечетких множеств. Носителем каждого множества является значение в соответствующих интервалах ($[0; 0.25]$ - «очень плохо», $(0.15;0.45)$ - «плохо», $(0.35;0.65)$ - «нормально», $(0.55;0.85)$ - «хорошо», $(0.75;1]$ - «очень хорошо»).

Для оценки эмоционального состояния также была построена эвристическая функция (9), оценивающая время до изменения эмоционального состояния в зависимости от исходного эмоционального состояния и изменения физического состояния:

$$f^{PSY^{-1}}(PSY, PHI) = 12 * (PSY^2 + 1) * PHI \quad (9)$$

Функция (9) также является первым приближением на основе имеющихся данных, полученных в ходе обсуждения с экспертами. Аппроксимация осуществлялась с использованием ряда Тейлора и достижения точности 10^{-2} . Обе полученные эвристические функции использовались для оценки состояния пациентов и бригад скорой помощи.

Всего было сгенерировано по 10 игроков каждого типа. При решении проблемы использовалась модель C-core. Согласно модели C-core на каждом этапе решения множество возможных составов коалиций рассчитывалось таким образом, чтобы состав коалиции был устойчив к изменениям. Другими словами, в найденном множестве коалиций все выигрыши являются максимальными и любое изменение состава коалиции приводит к снижению выигрыша. По результатам расчета была сформирована большая коалиция, которая дает наибольшую общую пользу при госпитализации пациентов. На рисунке 11 показано распределение выигрышей для различных коалиций.

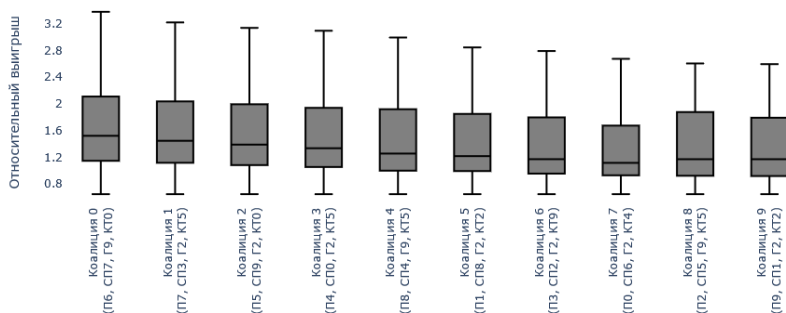


Рис. 11. Результат расчета коалиционной игры

Состав коалиции, дающей максимальную пользу в текущих условиях, указан в круглых скобках на горизонтальной оси, где П - пациент, СП - машина скорой помощи, Г - госпиталь, КТ - центр компьютерной томографии. Расчет коалиций производится итеративно, до тех пор, пока не были сформированы коалиции для госпитализации всех пациентов. Каждая коалиция оценивалась в параметрах относительного выигрыша, для чего были вычислены матрицы затрат для всех комбинаций участников, после чего из них были выбраны комбинации (составы коалиций) с максимальным выигрышем. На рисунке 11 представлено статистическое распределение выигрышей на каждом этапе расчетов и указаны максимальные и минимальные значения выигрышей. Каждый этап, отраженный столбцом на рисунке 11, соответствует расчету состава коалиции для одного пациента, а назначение

машин скорой помощи, пациентов и центров компьютерной томографии осуществляется в соответствии с составом коалиции, дающим максимальную пользу в конкретных условиях. В этом случае участники коалиции блокируются для следующих расчетов до поступления пациента в госпиталь.

Зависимость времени расчета от общего количества участников показана на рисунке 12. В качестве тестового стенда для расчета использовался компьютер на базе Intel Core i9 10900X 3,7 ГГц с 10 физическими ядрами, 64 ГБ оперативной памяти. Было использовано только одно ядро процессора без масштабирования на другие ядра. Код разработан с использованием языка программирования Python, библиотеки Pandas для представления массивов данных и результатов игры, Plotly для отображения результатов. В наихудшем случае, при полном переборе вариантов сложность задачи равна $O\left(\|N^A\| \|N^H\| \|N^P\| \|N^{CT}\|\right)$, где каждый N - количество участников соответствующего типа.

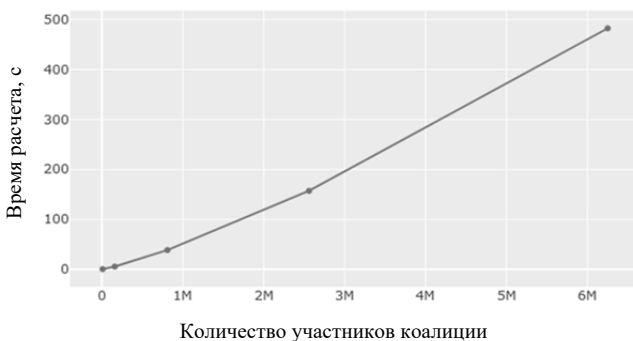


Рис. 12. Зависимость времени расчета от количества игроков

Однако реальная сложность расчетов меньше, поскольку для каждой следующей коалиции количество участников уменьшается за счет фиксации состава предыдущей коалиции и возможно использование эволюционных алгоритмов для расчета состава коалиции.

8. Заключение. В статье рассматриваются влияние различных факторов на процесс принятия решений при госпитализации в условиях пандемии. Всего было выявлено и проверено пять факторов. По результатам их анализа предложена формализация нечеткой коалиционной игры для поддержки принятия решений о госпитализации в условиях пандемии, которая учитывает не только факторы времени и затрат, но и психологический фактор. Представленная формализация

позволяет учитывать основные стратегии действий игроков и оценивать их психологическое состояние при выборе стратегий.

В ходе работы были собраны данные из новостных лент и сводок департаментов здравоохранения Москвы и Санкт-Петербурга. Однако следует отметить, что в настоящее время в открытом доступе недостаточно данных для точной оценки качества принятия решений в ситуационном управлении при использовании коалиционных игр для госпитализации. По этой причине в работе были использованы эвристические модели для оценки психологических и физиологических состояний. Тем не менее, проведенное моделирование расчета коалиционной игры для поддержки принятия решения при госпитализации показало применимость предложенного подхода. В будущем планируется сбор дополнительных данных и улучшение эвристических моделей.

Результаты моделирования показали возможность получения решения кооперативной игры за конечное время. Решением в данном случае являются множества составов коалиций, имеющих близкое распределение выигрышей. Из полученного множества затем выбирается конкретный состав коалиции, дающий максимальный выигрыш. В состав коалиции входит пациент, бригада скорой помощи, госпиталь и центр компьютерной томографии. Преимуществом предложенного подхода является использование метрики эффективности коалиции, учитывающей не только стоимостные и временные, но и социально-экономические характеристики участников при формировании коалиции для госпитализации. При этом в ходе оценки коалиции также формируется распределение выигрыша, который получит каждый из участников в ходе госпитализации. Скорость получения решения может быть повышена путем использования алгоритмов оптимизации, основанных, например, на эволюционных вычислениях. Для сравнения результатов расчета с уже существующими методами поддержки принятия решения может быть проведено сравнение получаемых решений с использованием метрик предложенного и существующих подходов. Данное исследование может быть одним из направлений последующей работы.

В работе также оценивалась вычислительная сложность совместной игры на основе полученных данных. В результате оценки было показано, что предложенная схема расчета состава коалиции обеспечивает получение решения в разумные сроки, что позволит использовать предложенную модель поддержки принятия решений при госпитализации в диспетчерской службе станций скорой помощи.

Последующие направления работы будут ориентированы на доработку функций оценки физиологического и психологического состояния с целью получения более точных результатов. Также планируется расширить возможности использования механизм коалиционных игр с определением наиболее выигрышной стратегии для каждого игрока при использовании для совместного принятия решений «врач-пациент». При получении данных из других стран или регионов может быть проведено дополнительное тестирование предложенной модели, что потребует учета культурных, административных, географических и экономических различий.

Литература

1. Xiong J. et al. Impact of COVID-19 pandemic on mental health in the general population: A systematic review. *Journal of Affective Disorders*. Elsevier B.V. 2020. Vol. 277. pp. 55–64.
2. European Centre for Disease Prevention and Control. Download COVID-19 datasets. 2021. Available: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/data> (accessed: 31.01.2021).
3. 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.
4. Mareš M. *Fuzzy Cooperative Games*. Heidelberg: Physica-Verlag HD. 2001. Vol. 72. P. 177.
5. Dalianis H. *Clinical Text Mining*. Clinical Text Mining: Secondary Use of Electronic Patient Records. Cham: Springer International Publishing. 2018. pp. 1–181.
6. Topol E.J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*. Springer US. 2019. Vol. 25. № 1. pp. 44–56.
7. Yu K.-H., Beam A.L., Kohane I.S. Artificial intelligence in healthcare. *Nature Biomedical Engineering*. Springer US, 2018. Vol. 2. № 10. pp. 719–731.
8. Cosoli G., Spinsante S., Scalise L. Wrist-worn and chest-strap wearable devices: Systematic review on accuracy and metrological characteristics. *Measurement*. Elsevier B.V. 2020. Vol. 159. P. 107789.
9. Zhong C.-L., Li Y. Internet of things sensors assisted physical activity recognition and health monitoring of college students. *Measurement*. Elsevier B.V. 2020. Vol. 159. P. 107774.
10. Jamil F. et al. Towards a remote monitoring of patient vital signs based on iot-based blockchain integrity management platforms in smart hospitals. *Sensors (Switzerland)*. 2020. Vol. 20. № 8.
11. Armitage H. Stanford Medicine scientists hope to use data from wearable devices to predict illness, including COVID-19. *Stanford Medicine News Center*. 2020. Available: <http://med.stanford.edu/news/all-news/2020/04/wearable-devices-for-predicting-illness-.html> (accessed: 14-May-2020).
12. Radin J.M. et al. Harnessing wearable device data to improve state-level real-time surveillance of influenza-like illness in the USA: a population-based study. *The Lancet Digital Health*. Elsevier Ltd. 2020. Vol. 2. № 2. pp. e85–e93.
13. British Medical Association. COVID-19-ethical issues. A guidance note In brief. 2020.
14. Sheremetov L.B., Smirnov A.V. Supply Chain Configuration as a Cooperative Game with Fuzzy Coalitions. *Supply Management Under Fuzziness*. Ed. Kahraman

- C., Öztayşi B. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2014. Vol. 313. pp. 293–314.
15. Mohebbi S., Li X. Coalitional game theory approach to modeling suppliers' collaboration in supply networks. *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 2015. Vol. 169. pp. 333–342.
 16. Omrani H., Shafaat K., Emrouznejad A. An integrated fuzzy clustering cooperative game data envelopment analysis model with application in hospital efficiency. *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd. 2018. Vol. 114. pp. 615–628.
 17. Shah K. et al. Focus on Mental Health During the Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Applying Learnings from the Past Outbreaks. *Cureus*. Cureus, Inc. 2020.
 18. Montemurro N. The emotional impact of COVID-19: From medical staff to common people. *Brain, Behavior, and Immunity*. Academic Press Inc. 2020. Vol. 87. pp. 23–24.
 19. 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. pp. 355–357.
 20. Li W. et al. Progression of Mental Health Services during the COVID-19 Outbreak in China. *International Journal of Biological Sciences*. NLM (Medline). 2020. Vol. 16. № 10. pp. 1732–1738.
 21. Mo Y. et al. Work stress among Chinese nurses to support Wuhan in fighting against COVID-19 epidemic. *Journal of Nursing Management*. NLM (Medline). 2020. Vol. 28. № 5. pp. 1002–1009.
 22. Департамент здравоохранения города Москвы. Приказ № 230 от 22.03.2020 «Об утверждении регламентов (алгоритмов) работы медицинских организаций, подведомственных Департаменту здравоохранения города Москвы в период с 23 по 30 марта 2020 г. по оказанию медицинской помощи пациентам, заболевшим новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) и контактным с ним лицам».
 23. Schultz P.W. et al. The constructive, destructive, and reconstructive power of social norms: Research article. *Psychological Science*. SAGE PublicationsSage CA: Los Angeles, CA. 2007. Vol. 18. № 5. pp. 429–434.
 24. Черкашин М. «Вторая волна: «Не надо стремиться в больницу!», РБК. 2020. URL: https://www.rbc.ru/spb_sz/12/12/2020/5fd483019a794782ebceec26. (Дата обращения: 27.05.2021).
 25. Abrams E.M. et al. The Challenges and Opportunities for Shared Decision Making Highlighted by COVID-19. *Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. American Academy of Allergy, Asthma and Immunology. 2020. Vol. 8. № 8. pp. 2474–2480.e1.
 26. Shleifer A. et al. Older People Are Less Pessimistic about the Health Risks of COVID-19 - HBS Working Knowledge. NBER Working Paper Series. 2020. Vol. 27494. Available: <http://www.nber.org/papers/w27494> (accessed: 31.01.2021).
 27. Шляхто Е.В. и др. Методические рекомендации, алгоритмы действия медицинских работников на различных этапах оказания помощи, чек-листы и типовые документы, разработанные на период наличия и угрозы дальнейшего распространения новой коронавирусной инфекции в Санкт-Петербурге. Версия 3.0 от 22.06.2020. Е.В. Шляхто, А.О. Конради, и др. // Санкт-Петербург, 2020. 187 с. URL: http://zdrav.spb.ru/media/filebrowser/covid-19_22.06.pdf (Дата обращения: 02.09.2021).
 28. Общество и пандемия: Опыт и уроки борьбы с COVID-19 в России // Москва: 2020. 774 с.

Смирнов Александр Викторович — д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, лаборатория интегрированных систем автоматизации, СПб ФИЦ РАН. Область научных интересов: конфигурирование систем, логистика знаний, поддержка принятия решений, социо-киберфизические системы. Число научных публикаций — 350. smir@iias.spb.su; 14 линия, 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7 (812) 328 20 73.

Молл Елена Георгиевна — д-р психол. наук, профессор, директор, АНО Европейский центр подготовки руководителей "ЦНПП"ММК". Область научных интересов: психология ИКТ, организационное поведение, управление карьерой, корпоративная культура, лидерство. Число научных публикаций — 90. moll@neva.ru; пр. Просвещения, 33/2, 194295, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7 (921) 993 37 67.

Тесля Николай Николаевич — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Лаборатория интегрированных систем автоматизации, СПб ФИЦ РАН. Область научных интересов: Управление знаниями, пространственно-временные знания, онтологии, интеллектуальные пространства, геоинформационные системы, технологии распределенных реестров. Число научных публикаций — 75. teslya@iias.spb.su; 14 линия, 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7 (812) 328 80 71.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в соответствии с исследовательским проектом № 20-04-60054 (все разделы) и бюджетной темы № 0073-2019-0005 (частично по разделу 5). Сбор и анализ данных в разделе 3 проведены в рамках проекта РФФИ № 20-07-00455. Интеграция данных из разнородных источников в общий набор данных проведена в рамках проекта РФФИ № 20-07-00904.

A. SMIRNOV, E. MOLL, N. TESLYA
**USE OF FUZZY COALITION GAMES IN SOCIALLY ORIENTED
DECISION MAKING DURING HOSPITALIZATION IN
PANDEMIC**

Smirnov A., Moll E., Teslya N. Use of Fuzzy Coalition Games in Socially Oriented Decision Making During Hospitalization in Pandemic.

Abstract. The problems of organizing medical care in the context of the COVID-19 pandemic, associated with the uncertainty and limitedness of various resources, led to the need to improve decision-making systems for hospitalization of patients. Situational management can improve the decision-making process to fit the current situation better. At the same time, it becomes important to take into account the influence of psychological factors on decisions made during hospitalization. The paper proposes the use of coalition games for situational management during hospitalization of patients. The players and members of the coalition are hospitals, ambulance teams, patients and computed tomography centers. The goal of the game is to form a coalition of participants that provides the maximum benefit in terms of time and cost of hospitalization at the time of decision making. The general scheme of hospitalization, the main sources of information about the situation, the formulation and formalization of the problem are considered. An experiment was carried out in which the formation of a coalition during hospitalization was tested based on data obtained from analyzing the dynamics of the COVID-19 pandemic. Due to the small amount of data and the lack of approved models of the situation development, when carrying out the calculation, some of the parameters were estimated using heuristic models of the development of the situation, based on the analysis of information from open sources of information. The experiment result contains a set of coalitions that provide the maximum benefit under the specified constraints. At the same time, the calculation time of the coalition game allows using the proposed model of decision-making support during hospitalization in the dispatch service of ambulance stations.

Keywords: hospitalization, decision making, pandemic, fuzzy sets, coalition game.

Smirnov Alexander — Dr.Habil., Professor, Honored scientist of the Russian Federation, Chief Researcher, Laboratory of Computer-Aided Integrated Systems, SPC RAS. Research interests: systems configuration, knowledge logic, decision support, socio-cyber-physical systems. The number of publications — 350. smir@iias.spb.su; 39, 14th line, 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7 (812) 328 20 73.

Moll Elena — Dr.Habil., Professor, Director, ANO European Management Training Center "ECMD MMK". Research interests: ICT psychology, organizational behavior, career management, corporate culture, leadership. The number of publications — 90. moll@neva.ru; 33/2, Prosveshcheniya Ave., 194295, St. Petersburg, Russia; office phone: +7 (921) 993 37 67.

Teslya Nikolay — Ph.D., Senior researcher, Laboratory of Computer-Aided Integrated Systems, SPC RAS. Research interests: Knowledge management, spatio-temporal knowledge, ontologies, intelligent spaces, geographic information systems, distributed ledger technologies. The number of publications — 75. teslya@iias.spb.su; 39, 14th line, 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7 (812) 328 80 71.

Acknowledgements. This work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in accordance with research project No. 20-04-60054 (all

sections) and budgetary theme No. 0073-2019-0005 (partly under section 5.) Data collection and analysis in section 3 was carried out within the framework of the project RFBR No. 20-07-00455. The integration of data from heterogeneous sources into a common data set was carried out within the framework of the RFBR project No. 20-07-00904.

References

1. Xiong J. et al. Impact of COVID-19 pandemic on mental health in the general population: A systematic review. *Journal of Affective Disorders*. Elsevier B.V. 2020. Vol. 277. pp. 55–64.
2. European Centre for Disease Prevention and Control. Download COVID-19 datasets. 2021. Available: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19/data> (accessed: 31.01.2021).
3. 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.
4. Mareš M. *Fuzzy Cooperative Games*. Heidelberg: Physica-Verlag HD. 2001. Vol. 72. P. 177.
5. Dalianis H. *Clinical Text Mining*. *Clinical Text Mining: Secondary Use of Electronic Patient Records*. Cham: Springer International Publishing. 2018. pp. 1–181.
6. Topol E.J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*. Springer US. 2019. Vol. 25. № 1. pp. 44–56.
7. Yu K.-H., Beam A.L., Kohane I.S. Artificial intelligence in healthcare. *Nature Biomedical Engineering*. Springer US, 2018. Vol. 2. № 10. pp. 719–731.
8. Cosoli G., Spinsante S., Scalise L. Wrist-worn and chest-strap wearable devices: Systematic review on accuracy and metrological characteristics. *Measurement*. Elsevier B.V. 2020. Vol. 159. P. 107789.
9. Zhong C.-L., Li Y. Internet of things sensors assisted physical activity recognition and health monitoring of college students. *Measurement*. Elsevier B.V. 2020. Vol. 159. P. 107774.
10. Jamil F. et al. Towards a remote monitoring of patient vital signs based on iot-based blockchain integrity management platforms in smart hospitals. *Sensors (Switzerland)*. 2020. Vol. 20. № 8.
11. Armitage H. Stanford Medicine scientists hope to use data from wearable devices to predict illness, including COVID-19. *Stanford Medicine News Center*. 2020. Available: <http://med.stanford.edu/news/all-news/2020/04/wearable-devices-for-predicting-illness-.html> (accessed: 14-May-2020).
12. Radin J.M. et al. Harnessing wearable device data to improve state-level real-time surveillance of influenza-like illness in the USA: a population-based study. *The Lancet Digital Health*. Elsevier Ltd. 2020. Vol. 2. № 2. pp. e85–e93.
13. British Medical Association. COVID-19-ethical issues. A guidance note In brief. 2020.
14. Sheremetov L.B., Smirnov A.V. Supply Chain Configuration as a Cooperative Game with Fuzzy Coalitions. *Supply Chain Management Under Fuzziness*. Ed. Kahraman C., Öztayşi B. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2014. Vol. 313. pp. 293–314.
15. Mohebbi S., Li X. Coalitional game theory approach to modeling suppliers' collaboration in supply networks. *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 2015. Vol. 169. pp. 333–342.
16. Omrani H., Shafaat K., Emrouznejad A. An integrated fuzzy clustering cooperative game data envelopment analysis model with application in hospital efficiency. *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd. 2018. Vol. 114. pp. 615–628.

17. Shah K. et al. Focus on Mental Health During the Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Applying Learnings from the Past Outbreaks. Cureus, Inc. 2020.
18. Montemurro N. The emotional impact of COVID-19: From medical staff to common people. *Brain, Behavior, and Immunity*. Academic Press Inc. 2020. Vol. 87. pp. 23–24.
19. 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. pp. 355–357.
20. Li W. et al. Progression of Mental Health Services during the COVID-19 Outbreak in China. *International Journal of Biological Sciences*. NLM (Medline). 2020. Vol. 16. № 10. pp. 1732–1738.
21. Mo Y. et al. Work stress among Chinese nurses to support Wuhan in fighting against COVID-19 epidemic. *Journal of Nursing Management*. NLM (Medline). 2020. Vol. 28. № 5. pp. 1002–1009.
22. Departament Zdravoohranenija goroda Moskvy. Prikaz № 230 ot 22.03.2020 «Ob utverzhdenii reglamentov (algoritmov) raboty medicinskih organizacij, podvedomstvennyh Departamentu zdravoohranenija goroda Moskvy v period s 23 po 30 marta 2020 g. po okazaniu medicijskoj pomoshhi pacientam, zaboлевшим novoj koronavirusnoj infekciej (COVID-19), i kontaktnym s nim licam» [Department of Health of the city of Moscow. Order No. 230 of March 22, 2020 “On Approval of Regulations (Algorithms) for the Operation of Medical Organizations Subordinated to the Moscow City Health Department in the period from March 23 to March 30, 2020 to provide medical assistance to patients with a new coronavirus infection (COVID-19), and to contact persons”] (In Russ.)
23. Schultz P.W. et al. The constructive, destructive, and reconstructive power of social norms: Research article. *Psychological Science*. SAGE PublicationsSage CA: Los Angeles, CA, 2007. Vol. 18, № 5. P. 429–434.
24. M. Cherkashin. «Vtoraja volna: «Ne nado stremit'sja v bol'nicu!» [«Second wave: «No need to rush to the hospital»] (In Russ.). RBC. 2020. Available: https://www.rbc.ru/spb_sz/12/12/2020/5fd483019a794782e6ceec26. (accessed: 27.05.2021).
25. Abrams E.M. et al. The Challenges and Opportunities for Shared Decision Making Highlighted by COVID-19. *Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. American Academy of Allergy, Asthma and Immunology. 2020. Vol. 8. № 8. pp. 2474–2480.e1.
26. Shleifer A. et al. Older People Are Less Pessimistic about the Health Risks of COVID-19 - HBS Working Knowledge. NBER Working Paper Series. 2020. Vol. 27494. Available: <http://www.nber.org/papers/w27494> (accessed: 31.01.2021).
27. Shlyakhto E.V. et al. Metodicheskie rekomendacii, algoritmy dejstvija medicinskih rabotnikov na razlichnyh jetapah okazanja pomoshhi, chek-listy i tipovye dokumenty, razrabotannye na period nalichija i ugrozy dal'nejshego rasprostraneniya novoj koronavirusnoj infekcii v Sankt-Peterburge. Versija 3.0 ot 22.06.2020 [Methodological recommendations, algorithms for the actions of medical workers at various stages of assistance, checklists and standard documents developed for the period of the presence and threat of further spread of a new coronavirus infection in St. Petersburg. Version 3.0 from 22.06.2020] (in Russ.). Saint Petersburg, 2020 - 187 pp. Available: http://zdrav.spb.ru/media/filebrowser/covid-19_22.06.pdf (accessed: 02.95.2021).
28. Obshhestvo i pandemija: Opyt i uroki bor'by s COVID-19 v Rossii [Society and Pandemic: Experience and Lessons in Combating COVID-19 in Russia] (in Russ.). Moscow. 2020. P. 774.