

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ СОЦИУМА К ВВЕДЕНИЮ МЕР ЭПИДЕМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ¹

И.М. Ажмухамедов, Д.А. Мачуева

Аннотация. Пандемия коронавирусной инфекции COVID-19 – глобальная чрезвычайная ситуация в масштабах человечества, повлекшая за собой множество негативных последствий, для смягчения которых требуется принимать грамотные и обоснованные организационные меры. Рассмотрение математических моделей инфекционных заболеваний помогает в решении проблем, возникших в различных сферах жизни общества, позволяет изучать сценарии, выявлять закономерности в развитии эпидемиологической ситуации и предлагать стратегии управленческого вмешательства и варианты эпидемического контроля. В данной работе предлагается математическая модель прогнозирования динамики формирования мнений в обществе по различным социально значимым вопросам, в частности, по введению мер эпидемической безопасности в условиях пандемии. Разработанная модель отражает процесс информационного обмена с учетом содержания распространяемой информации, а также коммуникационных свойств социальной системы и ее элементов, таких как связность, восприимчивость, общительность.

Ключевые слова: социальная система, моделирование процессов, информационное управление, распределение мнений, противоэпидемические меры.

ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько лет в информационном пространстве существует понятие, общественную значимость которого сложно преувеличить: пандемия. Она определяется как степень интенсивности эпидемического процесса, характеризующаяся массовым распространением инфекционной болезни на территории ряда стран или континентов.

Инфекция COVID-19, с которой столкнулось человечество, обладает рядом особенностей, послуживших причиной возникновения множества трудностей как в диагностике и лечении, так и в прогнозировании развития и принятии своевременных организационных и управленческих решений, в том числе на уровне отдельных регионов.

Ключевая проблема – отсутствие накопленных статистических данных. Частая мутация вируса, а

также наличие случаев бессимптомного и легкого течения заболевания очень сильно затрудняет аналитические исследования [1].

Показатели развития пандемии зависят от множества факторов, среди которых, помимо ее эпидемиологических характеристик и социально-демографической структуры населения, особое влияние на ход событий оказывают предпринимаемые системой здравоохранения меры профилактики и лечения и отношение к ним в обществе, социальная позиция большинства.

Несмотря на указанные сложности, не прекращаются попытки разработать математическое и программное обеспечение, позволяющее моделировать реальную эпидемиологическую и социально-экономическую ситуацию в регионе и давать прогнозы относительно ее динамики и последствий тех или иных планируемых мер. Рассмотрение моделей инфекционных заболеваний позволит проводить компьютерные вычислительные эксперименты, рассматривать различные сценарии, выявлять закономерности и предлагать различные стратегии управленческого вмешательства и варианты эпидемического контроля.

¹ Исследование выполнено при поддержке гранта фундаментальных научно-исследовательских проектов в рамках реализации стратегических проектов «Программы развития Астраханского государственного университета на 2021–2030» «Методологические основы оценки и управления уровнем комплексной безопасности региона».



1. МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭПИДЕМИЙ

Целью моделирования может быть краткосрочное либо долгосрочное прогнозирование эпидемиологической ситуации, оценка характера и динамики распространения инфекции, выявление ключевых временных периодов (пиков заболеваемости, выхода на плато, затухания), а также тестирование мероприятий, направленных на сдерживание эпидемии. В зависимости от поставленных задач исследователи отдают предпочтение тому или иному типу моделей [2, 3].

Известны методы анализа, основывающиеся на рассмотрении эпидемических процессов в непрерывном и дискретном времени, на уровне взаимодействия выделенных по различным признакам групп населения и отдельных индивидуумов [4].

Своего рода «золотым стандартом» при описании эпидемий являются камерные модели – SIR и ее разновидности. Согласно этой концепции популяция делится на группы (камеры) в зависимости от состояния – стадии заболевания. В разных вариациях модели определены от трех до семи таких групп: *S* (Susceptible) – восприимчивые, *E* (Exposed) – зараженные или находящиеся в инкубационном периоде, *I* (Infected) – инфицированные индивидуумы с симптомами, *R* (Recovered) – выздоровевшие, *H* (Hospitalized) – госпитализированные с тяжелым протеканием болезни, *C* (Critical) – находящиеся в критическом состоянии, требующие подключения аппарата искусственной вентиляции легких, *D* (Deaths) – летальные случаи заболевания среди населения.

С течением времени статус отдельных индивидуумов меняется и происходят переходы из одной группы в другую. Таким образом, на сегодняшний день существует целое семейство моделей этого класса с разным набором камер: SIR, SIS (без выработки иммунитета), SIRS (с временным иммунитетом), SEIR, SIRD, SEIRD, SEIR-HCD [5].

Математическая модель имеет вид системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных с начальными и граничными условиями [6]. Параметры моделей SIR определяют частоту и вероятность переходов между группами – скорость выздоровления, повторного заражения, частоту появления симптомов, вероятность госпитализации, отключения аппарата ИВЛ и др.

Эти значения рассчитываются исходя из демографических и географических особенностей рассматриваемого региона (страны, области, города), в идеале – с учетом множества факторов (тип за-

болевания, вероятность мутаций вируса, плотность и мобильность населения, возрастной состав, средний уровень иммунитета, климат) [7].

Основная проблема камерных моделей заключается в том, что выдаваемые результаты очень чувствительны к изменениям входных параметров. Недостаток достоверной статистической информации приводит к значительному снижению качества прогнозирования.

Более детальными по сравнению с камерными моделями являются агент-ориентированные модели, позволяющие рассматривать каждого участника в отдельности с учетом его социальных связей. Агенты также проходят стадии заболевания, однако все переходы моделируются не на групповом, а на индивидуальном уровне. Это позволяет учитывать неоднородность населения по разным личным характеристикам, таким как базовый уровень здоровья и количество социальных контактов. Для достижения успеха при создании модели такого класса необходимо получить представление о структуре моделируемой системы и добиться достаточно точной имитации действий агентов-участников [8].

В классе так называемых реакционно-диффузионных эпидемиологических моделей распространение вирусной инфекции описывается системой уравнений теплопроводности. В них принимается неравномерное пространственное распределение участников, однако передача вируса происходит мгновенно, без учета инкубационного периода [9].

Хорошо известны методы прогнозирования заболеваемости на основе регрессионного анализа и анализа временных рядов, в частности, интегрированная модель авторегрессии ARIMA. Это класс параметрических моделей, позволяющий описывать нестационарные временные ряды. Однако очевидно, что отсутствие достоверной статистики за прошлые периоды накладывает на возможность применения данного подхода значительные ограничения.

2. АСПЕКТ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ

Для повышения эффективности и более адекватного отражения действительности в моделях необходимо дополнительно учитывать влияние административных мер, призванных ограничить распространение вируса.

К числу таких мер относятся социальное дистанцирование, самоизоляция, отмена массовых мероприятий, блокирование транспортных потоков, применение дистанционных возможностей производства и обучения, ношение масок и перчаток в общественных местах. Все перечисленное снижает качество жизни, ухудшает психологическое состояние людей и может вызывать негативную реакцию [10–12].

Таким образом, следует понимать, что поскольку эффективность карантинных мер в значительной степени зависит от дисциплинированности населения [13], их введение должно базироваться на результатах оценок, полученных с помощью применения специальных математических моделей, учитывающих дополнительные входные данные, имеющие отношение больше не к медицинским аспектам, а к социальным процессам.

За несколько лет до глобального распространения вируса COVID-19 разрабатывались модели для определения возможного поведения человека при различных контрмерах, применяемых для сдерживания распространения болезней [14, 15]. В исследованиях, проводимых в этом направлении, ставятся цели разработки стратегий борьбы с заболеваемостью и оценки различных вариантов управленческого вмешательства [16]. При изучении поведенческих стимулов отмечена явная корреляция эпидемиологических показателей с экономическими [17]. Таким образом, при определении степени влияния различных ограничительных мероприятий на развитие эпидемиологической ситуации следует принимать во внимание степень общественной поддержки или отторжения указанных мер.

В работах отечественных и зарубежных авторов представлены исследования процессов распространения информации в социальных системах и влияния различных факторов на формирование мнений (убеждений, установок) в социуме.

Рассматриваются и обосновываются общие закономерности динамики мнений – согласования/сходимости и расхождения/поляризации [18, 19]. Выделяются и оцениваются факторы, определяющие ценность и привлекательность информации, различные характеристики личности, отражающие внутреннее состояние и отвечающие за внешнее поведение людей, а также правила передачи информации в процессах коммуникации [20, 21].

Опубликовано множество научных работ, посвященных задачам информационного управления – планирования и организации воздействий косвенного, неявного характера, заключающихся в распространении информации, склоняющей чле-

нов социальной системы к выбору определенной линии поведения [22]. В целях регулирования общественного мнения по той или иной значимой тематике предлагаются различные стратегии – в частности, выявления и использования критических точек социальной сети, так называемых «лидеров мнений» [23, 24].

Предлагаемые модели информационного влияния основаны на различных базовых теоретических предпосылках и гипотезах – модели с линейными порогами, независимыми каскадами, модели, использующие биологические и термодинамические аналогии («заражение»/«намагничивание»), модели на основе клеточных автоматов, цепей Маркова, теории игр. Каждая из моделей дает свои преимущества при применении в той или иной сфере, вместе с тем математические модели, как правило, строятся на ряде допущений, что может затруднить их использование в прикладных исследованиях реальных социальных взаимодействий [25–27].

В данной работе предлагается математическая модель, отражающая процесс информационного обмена в социальной системе на основе агрегированных показателей в виде вероятностных распределений. При этом учитывается содержание распространяемого информационного блока и такие коммуникационные свойства социальной системы и ее элементов, как количество связей, восприимчивость, общительность.

Разработанная модель дает возможность прогнозировать распределение мнений в обществе относительно той или иной распространяемой информации по введению мер эпидемической безопасности в условиях пандемии и обоснованно вырабатывать управленческие решения, направленные на повышение уровня осознания населением важности проводимых противоэпидемических мероприятий.

3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ МНЕНИЙ В СОЦИУМЕ

Население, проживающее в определенном регионе, представляет собой социальную систему, которая может быть охарактеризована связностью (усредненным количеством социальных контактов), а также коммуникабельностью и восприимчивостью ее элементов – отдельных субъектов – к той или иной информации. Под коммуникабельностью понимается стремление делиться полученной информацией, под восприимчивостью – склонность человека менять свою точку зрения под воздействием окружающих.



Параметрам модели, связанным с личностными характеристиками субъектов, невозможно дать точную количественную оценку, поэтому с целью формализации этих данных вводится распределение с множеством значений, состоящим из трех или пяти категорий:

$$\{\text{низкий (Н); средний (С); высокий (В)}\}; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\{\text{сильно отрицательный (--);} \\ &\text{отрицательный (-); нейтральный (Н);} \\ &\text{положительный (+);} \\ &\text{сильно положительный (++)}\}. \end{aligned} \quad (2)$$

Характеристики больших по численности социальных систем определяются в виде статистических распределений. Для получения исходных данных предлагается методология исследования социальной системы, основанная на репрезентативной выборке. Специальный опросник на основании комплекса вопросов прямого и непрямого характера позволяет установить:

- среднее число контактов на одного человека;
- уровень общительности (коммуникабельности) участников;

- показатели восприимчивости членов социальной системы, оцениваемые в терминах из множества (1), в долях от общей численности – $\omega^H, \omega^C, \omega^B$;

- начальное распределение мнений по заданной тематике – оценки в нечетких значениях из множества (2), в долевым соотношении – $v_0^{--}, v_0^-, v_0^H, v_0^+, v_0^{++}$.

Субъекты социальной системы представляются как отдельные, взаимодействующие между собой единицы – агенты. Путем межличностного информационного обмена обеспечивается распространение информации внутри системы. При этом предполагается, что поведение агентов подчиняется следующим правилам:

- Делятся полученной информацией участники с высокой степенью коммуникабельности и при условии сильно выраженного собственного отношения к этой информации (положительного или отрицательного).

- В процессе информационного обмена под воздействием окружающих меняется мнение участников со средней и высокой восприимчивостью, получающих эмоционально окрашенные отзывы, причем в последнем случае мнение может измениться кардинально (например, от положи-

тельного к отрицательному или от сильно отрицательного к нейтральному).

Процесс информационного взаимодействия начинается с момента $t = 0$, когда информация вносится в социальную систему через так называемое иницирующее множество – конечное число ее представителей, получивших сведения из первоисточника. Целью моделирования является расчет доли агентов, получивших информацию, и распределения их мнений на каждом шаге $t = t + 1$. За один шаг принимается время, необходимое для разовой реализации всех коммуникационных связей между участниками.

Общественные процессы, связанные с распространением информации, являются одним из направлений исследований, позволяющих реализовать мультидисциплинарный подход (в данном случае сочетающий в себе элементы математики, социологии и психологии коммуникации) и на этой основе решать широкий спектр смежных задач. В частности, ранее в статье [28] авторами решалась задача по определению охвата целевой аудитории различными средствами оповещения в условиях чрезвычайных ситуаций. Целью являлась выработка методологии подбора и обоснования параметров распространяемых информационных блоков, их структуры и содержания с учетом социально-психологических особенностей их восприятия. При этом достаточно очевидной являлась эмоциональная составляющая складывающегося в обществе мнения об угрозах ЧС и их последствиях. На первый план при распространении информации выходило понимание ее полезности и необходимости в категориях «вредоносный», «нейтральный», «полезный».

Получена аналитическая зависимость количества информированных агентов K на каждом шаге $t + 1$ информационного взаимодействия от следующих параметров:

- L – объем иницирующего множества;
- \bar{b} – коэффициент связности социальной системы – усредненное количество связей между ее членами;
- K_t – количество информированных участников на предыдущем шаге t ;
- q_t – доля участников на шаге t , готовых делиться полученными сведениями.

Значение q_t зависит от доли агентов с высоким уровнем общительности, а также от актуальности распространяемой информации на временном шаге t . Уровень общительности является постоянным

свойством членов социальной системы, поэтому его можно считать неизменяемым значением. Актуальность информации, как правило, со временем снижается и рассчитывается на каждом шаге с использованием специального коэффициента падения актуальности и прогнозируемого времени жизненного цикла информации. Однако в чрезвычайных ситуациях, несущих угрозу жизни и здоровью людей, как показывает практика, острая и значимая проблема достаточно долго сохраняет актуальность в информационном пространстве.

Таким образом, количество информированных агентов рассчитывается по формуле [28]

$$K_{t+1} = K_t + q_t \left(\frac{N - K_t}{N} \right) (K_t^{++} + K_t^{-}) \bar{b},$$

где N – общая численность социальной системы (населения региона). Коэффициент $(N - K_t) / N$ отражает долю участников, оставшихся неинформированными на предыдущем шаге, K_t^{++} и K_t^{-} – количество агентов со сформированным сильно выраженным отношением – положительным и отрицательным соответственно.

Далее в условиях массового распространения инфекционной болезни и введения мер эпидемической безопасности интерес представляет прогнозирование и изучение спектра мнений на каждом шаге информационного обмена. Целью является регулирование настроений в обществе путем обеспечения правильного понимания складывающейся эпидемической ситуации и противодействия распространению вредоносной информации, вызывающей дестабилизацию обстановки.

Распределение мнений задается количеством участников информационного обмена в каждой категории из множества (2). Стартовые значения $(K_0^{--}, K_0^{-}, K_0^H, K_0^{+}, K_0^{++})$ определяются в пределах иницирующего множества L согласно установленному начальному распределению мнений.

Количество агентов с сильно негативным отношением к информации на каждом шаге меняется следующим образом [28]:

$$K_{t+1}^{--} = K_t^{--} + (K_{t+1} - K_t) \left[v_0^{--} - v_0^{--} \times (\omega^C + \omega^B) \times \left(\frac{K_t^{++}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) + v_0^{-} (\omega^C + \omega^B) \left(\frac{K_t^{--}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) + v_0^H \omega^B \left(\frac{K_t^{--}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) \right].$$

Множители $\frac{K_t^{++}}{K_t^{++} + K_t^{--}}$ и $\frac{K_t^{-}}{K_t^{++} + K_t^{--}}$ отражают

доли участников информационного обмена, делящихся сильно выраженным положительным и отрицательным мнением соответственно. Формула наглядно отражает то, как поддаются влиянию и меняют свое мнение в ту или иную сторону участники со средней и высокой восприимчивостью.

Аналогично определяется формула расчета количества агентов с сильно положительным мнением [28]:

$$K_{t+1}^{++} = K_t^{++} + (K_{t+1} - K_t) \left[v_0^{++} - v_0^{++} \times (\omega^C + \omega^B) \left(\frac{K_t^{-}}{K_t^{++} + K_t^{-}} \right) + v_0^{+} (\omega^C + \omega^B) \times \left(\frac{K_t^{++}}{K_t^{++} + K_t^{-}} \right) + v_0^H \omega^B \left(\frac{K_t^{++}}{K_t^{++} + K_t^{-}} \right) \right].$$

Количество агентов с положительным мнением вычисляется по формуле

$$K_{t+1}^{+} = K_t^{+} + (K_{t+1} - K_t) \left[v_0^{+} - v_0^{+} (\omega^C + \omega^B) \times \left(\frac{K_t^{++}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) - v_0^{+} (\omega^C + \omega^B) \left(\frac{K_t^{--}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) + v_0^{++} \omega^C \left(\frac{K_t^{--}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) + v_0^{-} \omega^B \left(\frac{K_t^{++}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) + v_0^H \omega^C \left(\frac{K_t^{++}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) \right].$$

Количество агентов с нейтральным отношением определяется как

$$K_{t+1}^H = K_t^H + (K_{t+1} - K_t) \left[v_0^H - v_0^H (\omega^C + \omega^B) + v_0^{-} \omega^C \left(\frac{K_t^{++}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) + v_0^{+} \omega^C \left(\frac{K_t^{--}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) + v_0^{++} \omega^B \left(\frac{K_t^{--}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) + v_0^{-} \omega^B \left(\frac{K_t^{++}}{K_t^{++} + K_t^{--}} \right) \right].$$

4. АНАЛИЗ ОБЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

На рис. 1 представлены типовые графики, полученные в результате компьютерного моделирования. В качестве примера показан сгенерированный авторами модельный набор данных:

- общая численность социальной системы – 350 000 чел.;
- размер иницирующего множества – 12 %;
- среднее количество связей: от 1 до 5 – у 82 % участников, от 6 до 15 – у 18 %;
- начальное распределение мнений по тематике распространяемой информации: сильно положительное $v_0^{++} = 0,18$, положительное $v_0^+ = 0,35$, нейтральное $v_0^H = 0,2$, отрицательное $v_0^- = 0,17$, сильно отрицательное $v_0^{--} = 0,1$;
- готовность распространять полученную информацию: $q_0 = 0,3$;
- восприимчивость: низкая $\omega^H = 0,44$, средняя $\omega^C = 0,4$, высокая $\omega^B = 0,16$.

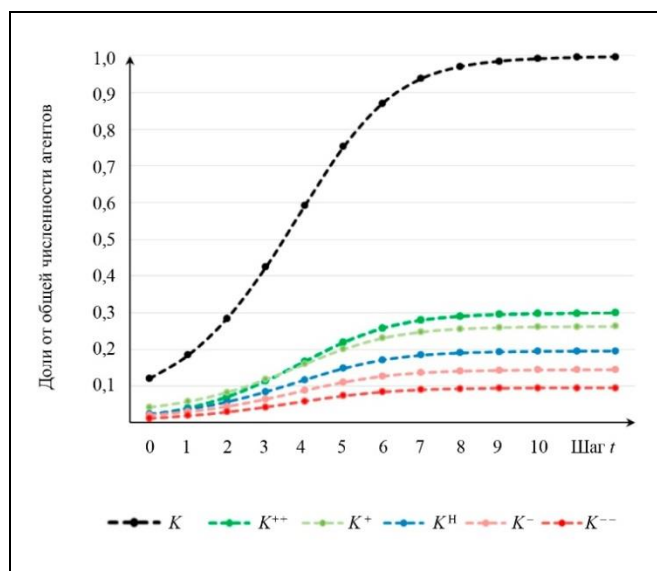


Рис. 1. Графики нарастания доли информированных агентов и распределения их мнений

В ходе экспериментов установлено, что графики увеличения количества участников в каждой категории во времени представляют собой сигмоиду – гладкую монотонно возрастающую нелинейную функцию, имеющую S-образную форму. Нарастание, как правило, плавное. Резкие скачки количества информированных агентов возможны лишь при очень больших пограничных значениях параметров – восприимчивости и общительности, что, согласно опросам, мало характерно для реальных социальных систем.

Применение предложенной модели может позволить оценивать динамику информационного обмена в заданных условиях и прогнозировать формирование мнений в обществе по тем или иным вопросам – к примеру, таким, как:

- введение различных ограничительных мер в условиях пандемии;
- возможный дефицит лекарств или средств защиты;
- нагрузка на систему здравоохранения;
- разработка и применение вакцин;
- снижение экономической активности в области торговли, туризма, культуры;
- разнообразные протестные выступления, связанные с отрицанием опасности вируса и необходимости мероприятий по обеспечению эпидемической безопасности.

Полученный в результате имитационного моделирования на «искусственных» данных прогноз может быть оценен как неудовлетворительный. В этом случае задача управления заключается в выборе варианта управляющего воздействия на систему, приводящего уровень информированности и вектор распределения мнений к желательным значениям с минимальными издержками.

Управляющие воздействия состоят в изменении параметров социальной системы, например, путем подбора канала для распространения информации (влияет на размер иницирующего множества), корректирования содержания информационного блока (начального распределения мнений по тематике) или формата его представления (соответственно, готовности его распространять). Также методы формирования и детального планирования комплекса доступных управляющих воздействий лежат в сфере компетенций специалистов в области социологии и психологии восприятия.

Прогнозирование реакции населения дает возможность принимать обоснованные управленческие решения для стабилизации настроений в обществе. Для правильного понимания складывающейся эпидемической ситуации важно спланировать и обеспечить предоставление полной и убедительной информации через каналы СМИ, пользующиеся доверием у населения.

Для противодействия распространению вредоносной информации, вызывающей дестабилизацию обстановки, могут быть предложены следующие воздействия: либо уменьшение уровня восприимчивости деструктивной информации (путем снижения доверия к ее источникам), либо снижение готовности ее распространять (потеря актуальности на фоне других информационных ресурсов).

На рис. 2 приведены примеры модельных изменений динамики процесса распространения информации при внесении в экспериментальные данные следующих корректив:

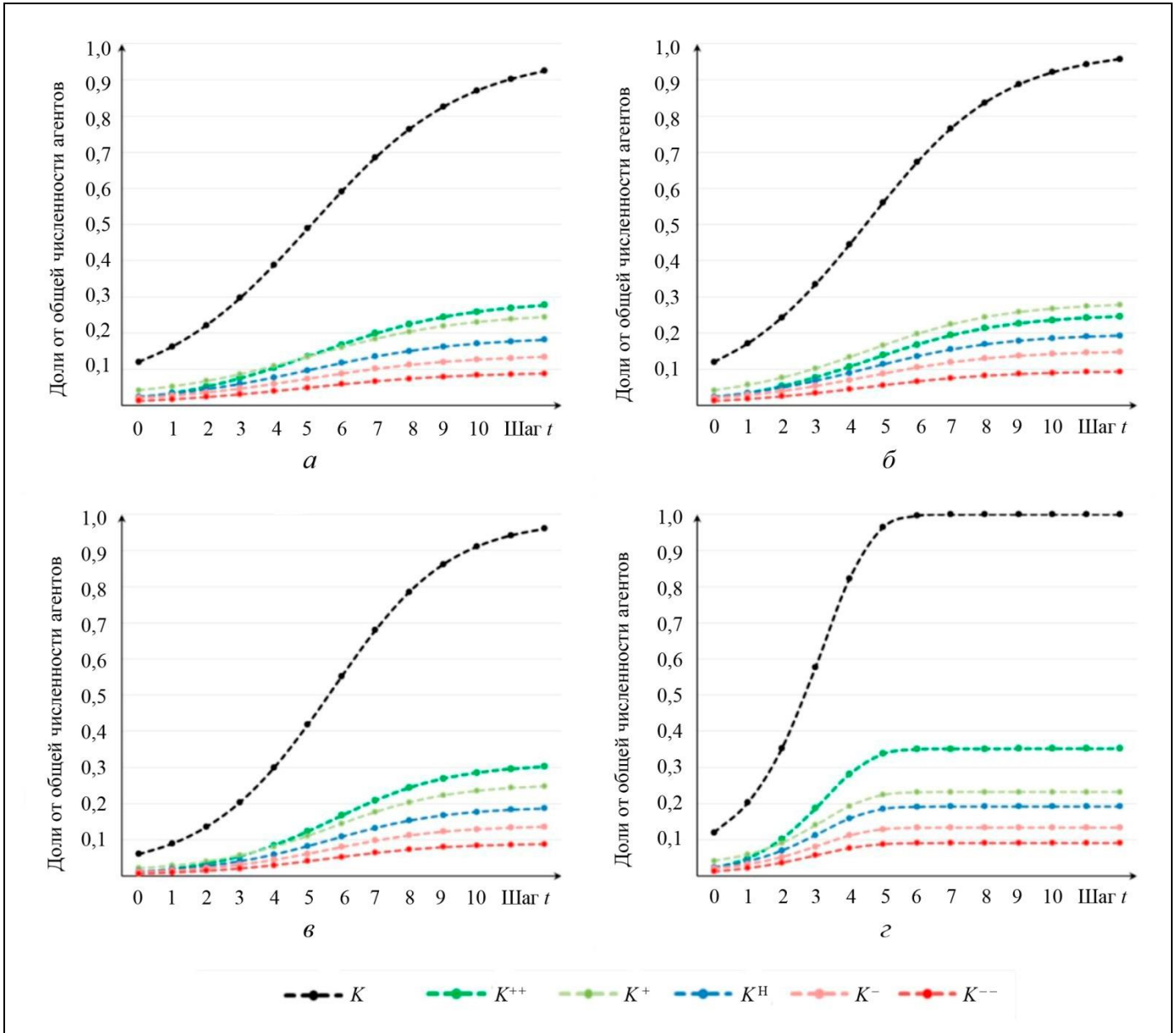


Рис. 2. Изменения динамики процесса распространения информации вследствие управленческого вмешательства

а) снижение готовности распространять полученную информацию: $q_0 = 0,2$;

б) уменьшение уровня восприимчивости: низкая $\omega^H = 0,6$, средняя $\omega^C = 0,32$, высокая $\omega^B = 0,08$;

в) уменьшение размера иницирующего множества – $L = 6\%$;

г) увеличение параметров: $q_0 = 0,45$, $\omega^H = 0,24$, $\omega^C = 0,53$, $\omega^B = 0,23$.

В сравнении с результатами, отраженными на рис. 1, на графиках рис. 2, а, б и в наблюдается снижение, а на графике рис. 2, г – увеличение скорости распространения информации в социальной системе.

На рис. 3 представлен пример, в котором по интересующей исследователя теме не произошло поляризации мнений, и настроение в обществе на момент запуска информационного блока преимущественно нейтральное ($v_0^{++} = 0,08$, $v_0^+ = 0,14$, $v_0^H = 0,61$, $v_0^- = 0,12$, $v_0^{--} = 0,05$):

а) при восприимчивости: $\omega^H = 0,2$, $\omega^C = 0,6$, $\omega^B = 0,2$;

б) при уменьшении уровня восприимчивости: низкая $\omega^H = 0,51$, средняя $\omega^C = 0,42$, высокая $\omega^B = 0,07$;

Модель демонстрирует, что в рассматриваемом числовом примере своевременно принятые меры,

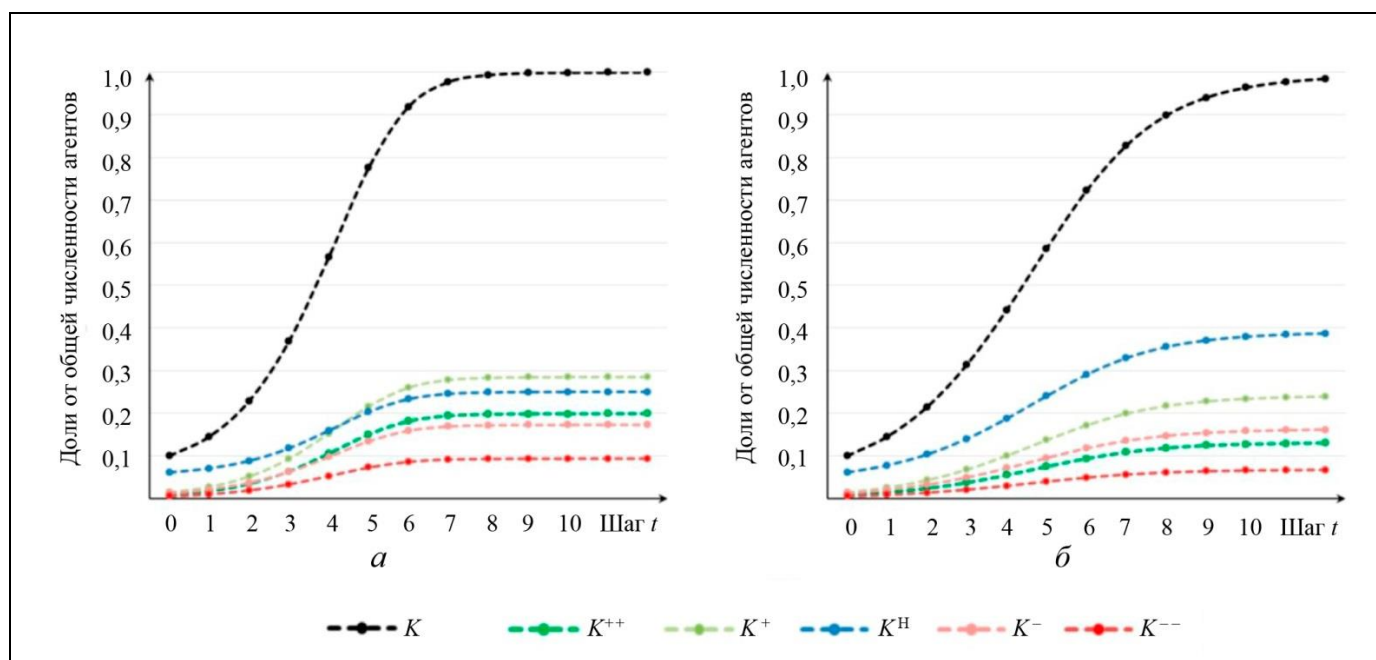


Рис. 3. Изменения распределения мнений вследствие управленческого вмешательства

снижающие уровень доверия к источнику, позволяют, сохранив общий нейтральный информационный фон, повлиять на распределение положительных и отрицательных мнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как любая чрезвычайная ситуация, эпидемия порождает множество негативных последствий, охватывая практически все стороны жизни человека и являясь источником сильного психологического напряжения.

Помимо чисто медицинских аспектов, на распространение заболевания прямо или косвенно влияют социальные процессы. Анализ и моделирование ситуации с этой позиции может способствовать организации грамотной профилактической и психокоррекционной работы среди населения, снижая уровень стресса и стабилизируя социальные отношения.

В проведенном исследовании была рассмотрена математическая модель, позволяющая прогнозировать динамику мнений в обществе относительно применяемых мер эпидемической безопасности и вырабатывать управленческие решения, направленные на принятие этих мер населением. Приведен пример распределения спектра мнений при заданных характеристиках социальной системы; показана возможность изменения динамики процесса распространения информации вследствие управленческого вмешательства.

При проведении имитационных экспериментов интерес представляет рассмотрение таких аспектов организации социальных систем, как кластеризация сети взаимодействия агентов и вероятность локализации распространяемой информации в одном кластере; учет мотивации агентов, стимулов и ограничений в распространении информации, а также учет порога «суммарного восприятия» участника информационного обмена, на которого оказывается одновременно воздействие многих информационных блоков и источников, вследствие чего он может не обратить внимания и не отреагировать на управляющее воздействие. Также необходим анализ реальных данных из онлайн-социальных медиа. Дальнейшие исследования в этом направлении представляются актуальными и перспективными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асатрян М.Н., Герасимук Э.Р., Логунов Д.Ю. и др. Прогнозирование динамики заболеваемости COVID-19 и планирование мероприятий по вакцинопрофилактике населения Москвы на основе математического моделирования // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2020. – Т. 97, № 4. – С. 289–302. [Asatryan, M.N., Gerasimuk, E.R., Logunov, D.Yu. et al. Predicting the dynamics of Covid-19 incidence and planning preventive vaccination measures for Moscow population based on mathematical modeling // Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology. – 2020. – Vol. 97, no. 4. – P. 289–302. (In Russian)]
2. Vytla, V., Ramakuri, S.K., Peddi, A., et al. Mathematical models for predicting Covid-19 pandemic: a review // Journal of Phys-

- ics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1797. – DOI: 10.1088/1742-6596/1797/1/012009.
3. *Rahman, A., Kuddus, M.A., Ip, R.H.L., Bewong, M.* A review of COVID-19 modelling strategies in three countries to develop a research framework for regional areas // *Viruses*. – 2021. – Vol. 13. – Art. no. 2185. – URL: <https://doi.org/10.3390/v13112185>
 4. *Осипов В.Ю., Кулешов С.В., Зайцева А.А., Аксенов А.Ю.* Подход к локализации источника эпидемии COVID-19 в России на основе математического моделирования // *Информатика и автоматизация*. – 2021. – Т. 5, вып. 20. – С. 1065–1089. [*Osipov, V.Yu., Kuleshov, S.V., Zaytseva, A.A., Aksekov, A.Yu.* Approach for the COVID-19 epidemic source localization in Russia based on mathematical modeling // *Informatics and Automation*. – 2021. – Vol. 20, no. 5. – P. 1065–1089. (In Russian)]
 5. *Криворотько О.И., Кабанихин С.И., Зятыков Н.Ю.* и др. Математическое моделирование и прогнозирование COVID-19 в Москве и Новосибирской области // *Сибирский журнал вычислительной математики*. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 395–414. [*Krivorot'ko, O.I., Kabanikhin, S.I., Zyat'kov, N.Yu.*, et al., *Mathematical Modeling and Forecasting of COVID-19 in Moscow and Novosibirsk Region // Numerical Analysis and Applications*. – 2020. – Vol. 13, no. 4. – P. 332–348 (In Russian)]
 6. *Мартыанова А.Е., Ажмухамедов И.М.* SEIRD-модель динамики распространения вирусных инфекций с учетом возникновения новых штаммов // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2022. – № 4(60). – С. 36–43. [*Martyanova, A.E., Azhmukhamedov, I.M.* SEIRD model describing the dynamics of the spread viral infections considering the appearance of new strains // *Caspian journal: control and high technologies*. – 2022. – No. 4(60). – P. 36–43. (In Russian)]
 7. *Захаров В.В., Балькина Ю.Е.* Балансовая модель эпидемии COVID-19 на основе процентного прироста // *Информатика и автоматизация*. – 2021. – Т. 20, № 5. – С. 1034–1064. [*Zakharov, V.V., Balykina, Yu.E.* Balance model of COVID-19 epidemic based on percentage growth rate // *Informatics and Automation*. – 2021. – Vol. 20, no. 5. – P. 1034–1064. (In Russian)]
 8. *Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф.* Моделирование эпидемии COVID-19 – преимущества агент-ориентированного подхода // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 58–73. [*Makarov, V.L., Bakhtizin, A.R., Sushko, E.D., Ageeva, A.F.* COVID-19 epidemic modeling – advantages of an agent-based approach // *Economic and social changes: facts, trends, forecast*. – 2020. – Vol. 13, no. 4. – P. 58–73. (In Russian)]
 9. *Соколовский В.Л., Фурман Г.Б., Полянская Д.А., Фурман Е.Г.* Пространственно-временное моделирование эпидемии COVID-19 // *Анализ риска здоровью*. – 2021. – № 1. – С. 23–37. [*Sokolovsky, V.L., Furman, G.B., Polyanskaya, D.A., Furman, E.G.* Spatio-temporal modeling of COVID-19 epidemic // *Health risk analysis*. – 2021. – No. 1. – P. 23–37. (In Russian)]
 10. *Utrani, S., Nanta, B., Sharma, N., Dutt, V.* Modeling the impact of the COVID-19 pandemic and socioeconomic factors on global mobility and its effects on mental health / In: *Artificial intelligence, machine learning, and mental health in pandemics: a computational approach*. 1st edition, Chapter 08. – Amsterdam: Elsevier, 2022. – P. 189–208. – DOI:10.1016/B978-0-323-91196-2.00012-0.
 11. *Сорокин М.Ю., Касьянов Е.Д., Рукавишников Г.В.* и др. Психологические реакции населения как фактор адаптации к пандемии COVID-19 // *Обозрение психиатрии и медицинской психологии*. – 2020. – № 2. – С. 87–94. [*Sorokin M.Yu., Kasyanov E.D., Rukavishnikov G.V. et al.* Psychological reactions of the population as a factor of adaptation to the COVID-19 pandemic // *Obozrenie psikiatrii i meditsinskoi psikhologii*. – 2020. – No. 2. – P. 87–94. (In Russian)]
 12. *Беляков Н.А., Багненко С.Ф., Рассохин В.В.* и др. Эволюция пандемии COVID-19: монография. – СПб.: Балтийский медицинский образовательный центр, 2021. – 409 с. [*Belyakov, N.A., Bagnenko, S.F., Rassokhin, V.V. et al.* *Ehvoluyutsiya pandemii COVID-19: monograph*. – St. Petersburg: Baltiiskii medi-tsinskii obrazovatel'nyi tsentr, 2021. – 409 s. (In Russian)]
 13. *Simoy, M.I., Aparicio, J.P.* Socially structured model for COVID-19 pandemic: design and evaluation of control measures // *Computational and Applied Mathematics*. – 2022. – Vol. 41, no. 1. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40314-021-01705-1>.
 14. *Nowzari, C., Preciado, V.M., Pappas, G.J.* Analysis and control of epidemics: a survey of spreading processes on complex networks // *IEEE Control Systems Magazine*. – 2016. – Vol. 36. – P. 26–46. DOI: 10.1109/MCS.2015.2495000.
 15. *Merler, S., Ajelli, M., Fumanelli, L.* et al. Spatiotemporal spread of the 2014 outbreak of Ebola virus disease in Liberia and the effectiveness of non-pharmaceutical interventions: a computational modelling analysis // *The Lancet Infectious Diseases*. – 2015. – Vol. 15, no. 2. – P. 204–211. DOI: 10.1016/S1473-3099(14)71074-6.
 16. *Gubar, E., Taynitskiy, V., Fedyanin, D., Petrov, I.* Hierarchical epidemic model on structured population: diffusion patterns and control policies // *Computation*. – 2022. – Vol. 10, no. 31. – DOI: 10.3390/computation10020031
 17. *Fenichel, E.P.* Economic considerations for social distancing and behavioral based policies during an epidemic // *J. Health Econ*. – 2013. – Vol. 32, no. 2. – P. 440–451. – DOI:10.1016/j.jhealeco.2013.01.002
 18. *Flache, A., Mäs, M., Feliciani, T.*, et al. Models of social influence: towards the next frontiers // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. – 2017. – Vol. 20, no. 4. – URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/20/4/2.html>.
 19. *Губанов Д.А., Петров И.В., Чхартушвили А.Г.* Многомерная модель динамики мнений в социальных сетях: индексы поляризации // *Проблемы управления*. – 2020. – № 3. – С. 26–33. [*Gubanov, D.A., Petrov, I.V., Chkhartishvili, A.G.* Multidimensional model of opinion dynamics in social networks: polarization indices // *Control Sciences*. – 2020. – No. 3. – P. 26–33. (In Russian)]
 20. *Zhang, L., Li, K., Liu, J.* An information diffusion model based on explosion shock wave theory on online social networks // *Appl. Sci*. – 2021. – No. 11. – URL: <https://doi.org/10.3390/app11219996>.
 21. *Gubanov, D.A.* A study of a complex model of opinion dynamics in social networks // *Journal of Physics: Conference Series*. Moscow: IOP Publishing Ltd. – 2021. – Vol. 1740. – P. 1–6. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1740/1/012040/pdf>.
 22. *Gubanov, D.A., Kozitsin, I.V., Chkhartishvili, A.G.* Face mask perception during the COVID-19 pandemic: an observational study of Russian online social network VKontakte // *Advances in Systems Science and Applications*. – 2021. – Vol. 21, no. 3. – P. 91–100.



23. *Milov, O., Yevseiev, S., Milevskiy, S., et al.* Critical points of information influence in social networks // III International Scientific and Practical Conference «Information Security And Information Technologies». – Kirovograd, 2021. – URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3200/paper18.pdf>.
24. *Al-Oraiqat, A., Ulichev, O.S., Meleshko, Ye., et al.* Modeling strategies for information influence dissemination in social networks // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2022. – No. 13(91). – P. 2463–2477. – DOI:10.1007/s12652-021-03364-w.
25. *Perra, N., Rocha, L.E.* Modelling opinion dynamics in the age of algorithmic personalization // Scientific reports. – 2019. – Vol. 9. – Art. no. 7261.
26. *Parsegov, S.E., Proskurnikov, A.V., Tempo, R., and Friedkin, N.E.* Novel multidimensional models of opinion dynamics in social networks // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2017. – Vol. 62, no. 5. – P. 2270–2285.
27. *Kozitsin, I.V.* Formal models of opinion formation and their application to real data: evidence from online social networks // The Journal of Mathematical Sociology. – 2020. – Vol. 46. – P. 120–147. – DOI: 10.1080/0022250X.2020.1835894.
28. *Azhmukhamedov, I.M., Machueva, D.A., Alisultanova, E.D.* Mathematical modeling of information management of social systems in emergencies // Advances in Economics, Business and Management Research. – 2020. – Vol. 156. – P. 695–701.

Статья представлена к публикации членом редколлегии академиком РАН Д.А. Новиковым.

Поступила в редакцию 22.12.2022,
после доработки 19.09.2023.
Принята к публикации 19.09.2023.

Ажмухамедов Искандар Маратович – д-р техн. наук, Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, г. Астрахань, ✉ aim_agtu@mail.ru,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9058-123X>

Мачуева Дина Алуевна – канд. техн. наук, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, ✉ ladyd_7@mail.ru,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6827-8998>

© 2023 г. Ажмухамедов И.М., Мачуева Д.А.



Эта статья доступна по [лицензии Creative Commons «Attribution» \(«Атрибуция»\) 4.0 Всемирная.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

MODELING SOCIAL ATTITUDE TO INTRODUCING EPIDEMIC SAFETY MEASURES IN A PANDEMIC

I.M. Azhmukhamedov¹ and D.A. Machueva²

¹Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

²Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia

✉ aim_agtu@mail.ru, ✉ ladyd_7@mail.ru

Abstract. The COVID-19 pandemic is a global human-scale emergency that has caused many negative effects. To mitigate them, it is necessary to take competent and well-founded organizational measures. Considering infectious diseases from a mathematical point of view allows solving problems in various spheres of society, studying possible scenarios, identifying epidemiological evolution patterns, and proposing intervention strategies and epidemic control options. This paper presents a mathematical model for forecasting opinion dynamics on various socially significant issues, in particular, on the introduction of epidemic safety measures in a pandemic. The model reflects the process of information exchange considering the content of disseminated information and the communicative properties of the social system and its elements (connectivity, susceptibility, and sociability).

Keywords: social system, process modeling, informational control, distribution of opinions, anti-epidemic measures.

Funding. This study was supported by the fundamental research project “Methodological Fundamentals of Assessment and Control of Regional Complex Security” within the Development Program of Astrakhan State University for 2021–2030.