

Татьяна Владимировна СИВАКОВА

*научный сотрудник Института прикладной математики
им. М.В. Келдыша РАН, старший научный сотрудник Российского экономического
университета им. Г.В. Плеханова, г. Москва, sivakova15@mail.ru*

Владимир Анатольевич СУДАКОВ

*доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН,
главный научный сотрудник Российского экономического университета
им. Г.В. Плеханова, г. Москва, sudakov@ws-dss.com*

Артемий Викторович МИЛАЕВ

*ведущий программист Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН,
г. Москва, artemiy.milaev@gmail.com*

ОСОБЕННОСТЬ ПОДХОДА НЕЧЕТКИХ СУЖДЕНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ¹

Аннотация. Статья посвящена мультиагентному моделированию эпидемической ситуации на базе нечетких суждений. Разработан и реализован программный комплекс эпидемиологической обстановки на примере коронавирусной инфекции в населенных пунктах, с целью управления и прогнозированием распространения вируса и дальнейшей координацией мер по борьбе с ним.

Ключевые слова: мультиагентное моделирование, нечеткие суждения, коронавирусная инфекция, программный комплекс, эпидемиологическая обстановка.

Tatiana Vladimirovna SIVAKOVA

*Researcher of the Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences),
Moscow, Senior Research of the Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, sivakova15@mail.ru*

Vladimir Anatolievich SUDAKOV

*Doctor of Science (Technics), Leading Researcher of the Keldysh Institute
of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences), Moscow, Chief Research
of the Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, sudakov@ws-dss.com*

Artemiy Viktorovich MILAEV

*Leading Programmer of the Keldysh Institute of Applied Mathematics
(Russian Academy of Sciences), Moscow, artemiy.milaev@gmail.com*

PECULIARITIES OF THE APPROACH OF FUZZY JUDGEMENTS IN MODELING THE EPIDEMIOLOGICAL SITUATION²

Abstract. The article is devoted to multi-agent modeling of an epidemic situation based on fuzzy judgments. A software package for the epidemiological situation has been developed and implemented using the example of coronavirus infection in populated areas in order to manage and predict the spread of the virus and further coordinate measures to combat it.

Keywords: multi-agent modeling, fuzzy judgments, coronavirus infection, software package, epidemiological situation.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и CNPq (Бразилия), Фонда содействия инновациям (Россия), DBT, DST (Индия), MOST, NSFC (Китай), SAMRC (ЮАР) в рамках научного проекта № 20-51-80002.

² The reported study was funded by RFBR and CNPq, FASIE, DBT, DST, MOST, NSFC, SAMRC according to the research project № 20-51-80002.

Вспышка коронавирусной инфекции значительно повлияло на здоровье людей и как следствие на экономику не только в нашей стране, но и во всем мире. Инфекционное заболевание COVID-19 было впервые зарегистрировано в городе Ухань, в Китае в декабре 2019 г. [1]. Уже 30 января 2020 г. Всемирная организация здравоохранения объявила эту вспышку чрезвычайной ситуацией в области общественного здравоохранения, имеющей международное значение, а 11 марта — пандемией [2]. На 20 марта 2020 г. коронавирусная инфекция была обнаружена практически во всех странах мира. По состоянию на 10 апреля 2022 г. зарегистрировано свыше 496 млн случаев заболевания по всему миру; подтверждено более 6,177 млн летальных исходов заболевания, что делает пандемию COVID-19 одной из самых смертоносных в истории [3]. В связи с этим, правительством были введены меры по противодействию распространению коронавирусной инфекции, для защиты жизни и здоровья граждан, что неизбежно повлияло на внешние и внутренние экономические показатели экономической эффективности развития страны. На какое-то время были закрыты государственные границы, вводился режим самоизоляции, удаленный режим работы и обучения, были приостановлены международные пассажирские и грузовые перевозки. Что несомненно оказало влияние на экономическую ситуацию в Российской Федерации.

Внешние факторы, как приостановка и ограничение международного авиасообщения привело к серьезным изменениям в отрасли авиационных перевозок и туризме. Внутренние факторы связаны в первую очередь с уменьшением экономической активностью каждого жителя страны. Наверное, не было не одной отрасли, на которую бы не оказала бы влияние сложившаяся ситуация. К главному недостатку введения карантинных мер можно отнести приостановку экономической деятельности, что повлекло огромные финансовые потери. Исходя из этого, при борьбе с любым быстро распространяющимся вирусом, в частности коронавирусной инфекцией, основной проблемой является поиск баланса между экономическими ограничениями и нагрузкой на систему здравоохранения. Попытке облегчить поиск решения данной проблемы посвящена данная работа.

Имитационное моделирование позволяет без привлечения больших временных и финансовых ресурсов, а также проведения без практических экспериментов в первую очередь с помощью программного комплекса выдвигать и проверять различные гипотезы. В текущей работе представлена разработка мультиагентной имитационной модели распространения вируса, передающегося через контакты между гражданами. Данная модель является эффективным инструментом для моделирования распространения коронавирусной инфекции и проверки использования различных параметров при борьбе с ней. Использование данной модели позволит делать прогнозы, с помощью которых можно выбрать оптимальные методы борьбы с распространением вируса.

Предложенная имитационная модель является стохастической, так как реальная система работает в стохастических условиях. Так, например, время пребывания человека в той или иной локации обладает вероятностным характером. Таким образом, можно сделать вывод о том, что данный процесс включает в себя множество независимых процессов со случайным временным интервалом

выполнения. Для моделирования систем, обладающих подобными признаками, целесообразно использовать мультиагентный подход. Агентное моделирование предлагает разработчику модели особый взгляд на поведение системы. Так, разработчик модели может не обладать исчерпывающей информацией о поведении системы в целом, о ее переменных и зависимостях между ними, также он может не понимать полной схемы процессов, ему важно лишь знать, как ведут себя отдельные элементы в системе.

Одной из основных задач при этом является правильная интерпретация полученных результатов. Для того чтобы минимизировать вероятность появления ошибки при принятии решения после приведенных исследований, предложено использовать для оценки полученных результатов нечеткие суждения [4, 5].

При выборе данного подхода разработку модели можно начинать с идентификации моделируемых объектов (агентов) и задания их поведения.

Программа принимает в качестве входных параметров json-файл, в котором должны быть описаны параметры работы программы и данные модели.

Модуль имитационного моделирования написан на языке разработки: C#. Данный модуль интегрирован в портал веб-сервисов поддержки принятия решений ws-dss.com. Данный портал позволяет запускать множество моделей в режиме облачного сервиса через интернет-браузер [6].

Работа программы представляет собой повторяющийся цикл, в ходе которого происходит перемещение людей между локациями и передача вируса от больных людей к здоровым с некоторой вероятностью, если они находятся в одной локации.

Типы людей, типы локаций, а также параметры нахождения какого-либо типа людей в локации какого-либо типа задаются во входных параметрах модели.

Перед запуском симуляции создается таблица маршрутов, в которой содержится информация о кратчайшем пути между любыми двумя локациями (кроме транспорта). При составлении таблицы маршрутов приоритет будет отдаваться перемещению между станциями (т.е. с помощью транспорта).

Программа поддерживает работу в нескольких потоках, что существенно сокращает время вычислений. На рисунке 1 показано как вводятся исходные данные для моделирования. Вводится информация о типах локаций, и типах людей, которые могут эти локации посещать. Также указываются типы транспортных средств и создаются их маршруты. Остановочные пункты также выступают в качестве локаций.

На рисунке 2 представлен фрагмент трассировочной печати программы. Моделирование происходит с фиксированным по времени шагом. В те временные интервалы, когда меняется состояние модели, выводится информация по перемещению людей, транспорта, и изменению состояния инфицирования.

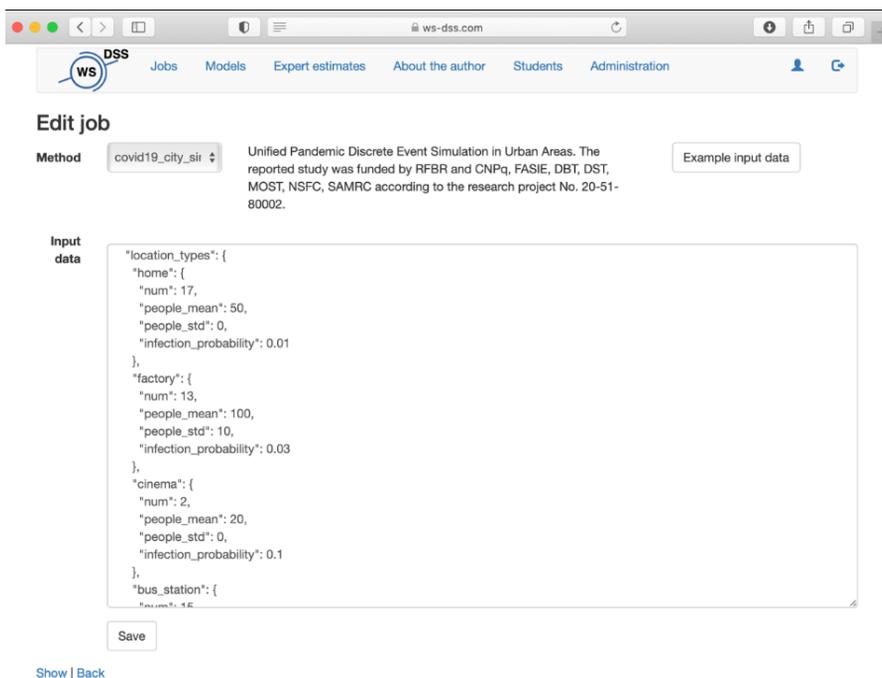


Рис. 1. Ввод параметров модели

Источник: составлено авторами.

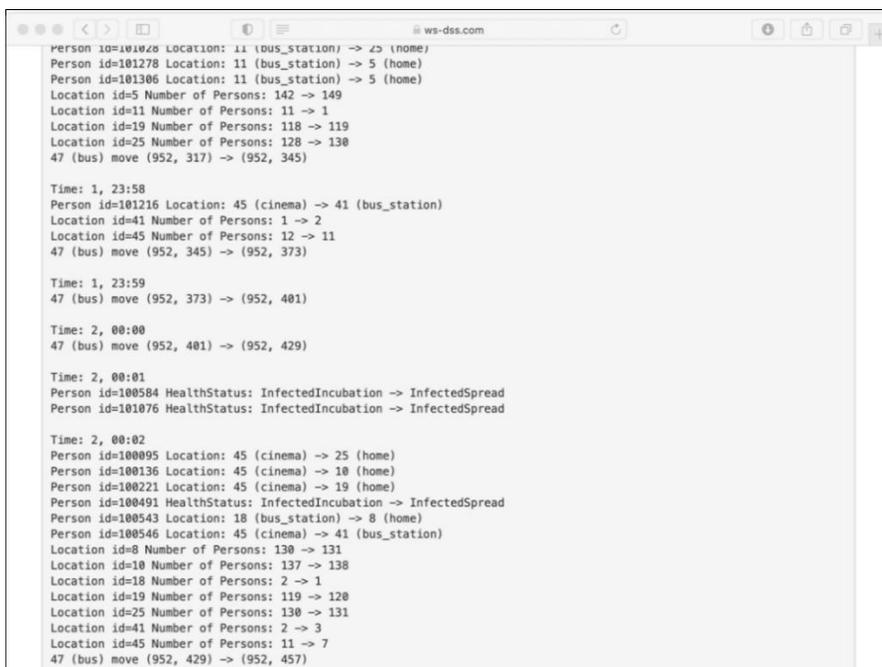


Рис. 2. Трассировочная печать по результатам моделирования

Источник: составлено авторами.

Результаты работы сохраняются в форме таблицы и выводятся в виде графиков. Примеры графиков показаны на рисунках 3-5.

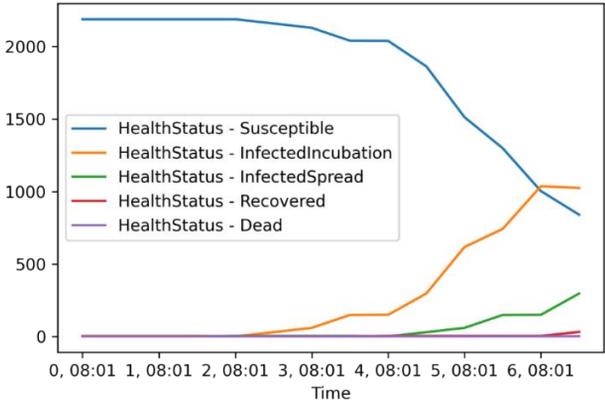


Рис. 3. Графическое представление результатов моделирования
Источник: составлено авторами.

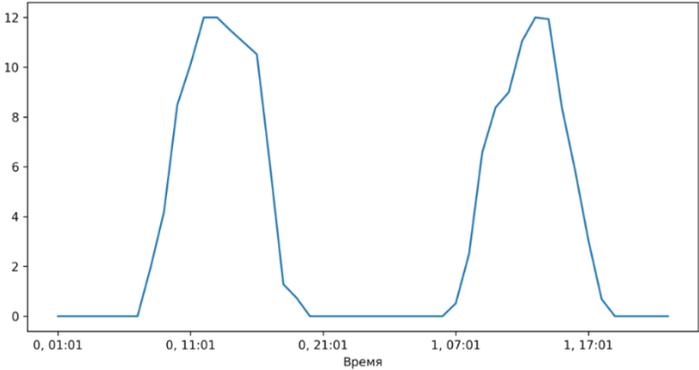


Рис. 4. Число людей в офисе на протяжении двух дней
Источник: составлено авторами.

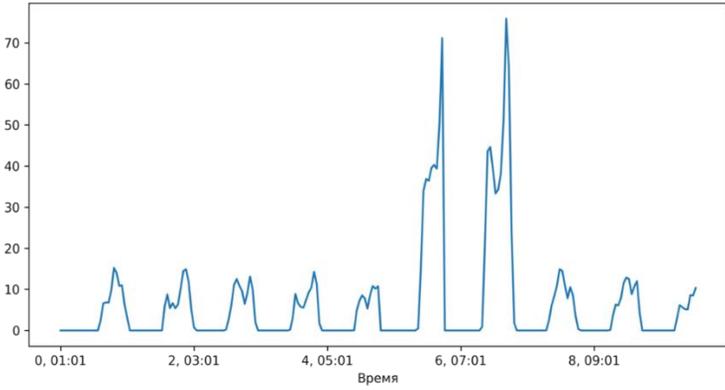


Рис. 5. Число людей в кино на протяжении десяти дней
Источник: составлено авторами.

На основании мультиагентной модели был разработан и реализован моделирующий программный комплекс пандемий для населенных пунктов. Этот комплекс моделирования распространения коронавирусной инфекции помогает спрогнозировать поведение вируса и предсказать наиболее вероятное развитие событий в части заболеваемости в определенной населенном пункте. К достоинствам данной программы можно отнести повышение точности за счет увеличения входных параметров, а также возможность проводить вычисления сразу в нескольких потоках. Данная программа была апробирована на примере населенного пункта с численностью населения 26 000 человек и доказала пригодность для прогнозирования распространения вируса в населенных пунктах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chaolin Huang, Yeming Wang, Xingwang Li, Lili Ren, Jianping Zhao: Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China (англ.) // *Lancet*. 2020. Vol. 395, iss. 10223. P. 497-506. doi:10.1016/S0140-6736(20)30183-5.
2. Вступительное слово Генерального директора на пресс брифинге по COVID-19 11 марта 2020 г. // Всемирная организация здравоохранения: [сайт]. [дата публ. 11.03.2020]. URL: <https://www.who.int/ru/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020> (дата обращения: 03.03.2022).
3. Weekly epidemiological update on COVID-19 — 12 April 2022 // Всемирная организация здравоохранения: [сайт]. [дата публ. 12.04.2022]. URL: <https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update-on-covid-19---12-april-2022> (дата обращения: 18.04.2022).
4. Посадский А.И., Сивакова Т.В., Судаков В.А. Агрегирование нечетких суждений экспертов // *Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша*. 2019. № 101. 12 с. doi:10.20948/prepr-2019-101. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2019-101> (дата обращения: 10.03.2022).
5. Судаков, В.А. Мультиагентное моделирование на базе нечетких суждений экспертов применительно к области борьбы с пандемией / В. А. Судаков, Т. В. Сивакова // *Математическое моделирование. Тезисы II Международной конференции*, Москва, 21–22 июля 2021 года. М.: Перо, 2021. С. 81-83.
6. Chetverushkin, B.N., Sudakov, V.A. Factor Model for the Study of Complex Processes // *Doklady Mathematics*. 2019.100(3). P. 514-518.