

Моделирование и построение сценариев развития эпидемии COVID-19 в регионах Российской Федерации в условиях карантинных мер

В работе построены и проанализированы две математические модели распространения новой коронавирусной инфекции, вызванной вирусом SARS-CoV-2, для Новосибирской, Томской, Омской областей и Алтайского края на основе решения задач идентификации неизвестных параметров по дополнительной информации о количестве ежедневно выявленных, протестированных и умерших случаев.

Первая модель SEIR-типа описывается системой из 7 обыкновенных дифференциальных уравнений, в которой вся популяция разделена на 7 групп: восприимчивые, инфицированные с симптомами и без, госпитализированные, критические, выздоровевшие и умершие, связанных между собой вероятностями перехода (коэффициенты модели) [1]. Задача определения неизвестных 8 параметров (5 коэффициентов и 3 начальных условия) по дополнительным измерениям количества выявленных и умерших случаев была сведена к задаче минимизации целевого квадратичного функционала, которая в свою очередь была решена методом Парзеновских оценок в комбинации с градиентными методами. Была получена формула градиента целевого функционала, связанного с решением соответствующей сопряженной задачи. В рамках данной модели не учитывались возраст, вакцинация, карантинные меры (закрытие школ, ношение масок, массовые мероприятия) за исключением самоизоляции граждан. Смоделированы основные пики заболеваемости COVID-19 и поведение кривой выявленных случаев в регионах РФ.

Вторая агентно-ориентированная модель основана на случайных графах, соединяющих агентов в структуре модели (домохозяйства, учебные заведения, рабочие и публичные места) согласно их возрасту, эпидемиологическому статусу, пребыванию на карантине и др. [2-3] В рамках данной модели были восстановлены 4 неизвестных параметра (контагиозность и время изменения, начальное количество инфицированных, параметр тестирования) на каждом временном промежутке, согласованном с ограничительными мерами в регионах по дополнительным измерениям количества ежедневно выявленных, протестированных и умерших случаев. Проведен анализ идентифицируемости агентной модели и уточнены границы неизвестных параметров. Задача уточнения параметров была сведена к задаче минимизации целевого функционала, которая была решена методами, указанными выше. Модель верифицирована на исторических данных по количеству выявленных случаев. Построены сценарии развития эпидемии в регионах при введении и снятии ограничений. Проведено качественное сравнение двух моделей и обозначено область применимости.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований и Лондонским Королевским Обществом (проект № 20-51-10003) и грантом Президента Российской Федерации (МК-4994-2021.1).

Литература

[1] Krivorotko O.I., Kabanikhin S.I., Zyat'kov N.Yu., Prikhod'ko A.Yu., Prokhoshin N.M., Shishlenin M.A. Mathematical modeling and forecasting of COVID-19 in Moscow and Novosibirsk region. Numer. Analysis Applications. 13(4): 332-348 (2020). DOI 10.1134/S1995423920040047.