

## **Инновационный подход в управлении элементами здравоохранения при своевременном выявлении предэпидемической ситуации в регионе**

*Я. А. Шадрина<sup>1\*</sup>, А. В. Мокшин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань,  
Российская Федерация

\* e-mail: yana.shadrina.00@inbox.ru

**Аннотация.** Распространение массовых заболеваний на сегодняшний день является глобальной проблемой, которая представляет угрозу для жизни и здоровья людей. Прогнозирование распространения новой инфекции имеет важное значение для принятия своевременных мер по снижению заболеваемости. В данной статье рассматривается возможность внедрения цифровой системы в органы здравоохранения, которая позволит на основе статистических данных определять эпидемические пороги и оперативно предпринимать управленческие решения. В основе системы лежит метод среднего времени первого появления, который известен в современной математической физике и используется для анализа и теоретической характеристики процессов так называемого активационного типа. Показано, что данный метод может быть непосредственно адаптирован для детального и аккуратного анализа развития инфекционных заболеваний, способных переходить в режимы эпидемии и пандемии. Внедрение данной методики представляет собой элемент цифровизации современной медицины и способно принести положительный экономический эффект. В работе были проанализированы данные коронавирусной инфекции для 11 больниц Республики Марий Эл. Определены критические значения числа заболевших, с которых начинается взрывной рост заболеваемости в период третьей и четвертой вспышки коронавируса. Предложенная цифровая система может стать полезным инструментом информатизации органов здравоохранения по распространению новых инфекционных заболеваний, которые могут привести к чрезвычайным ситуациям.

**Ключевые слова:** цифровая система, предэпидемическая ситуация, прогноз

## **Definition of the characteristics of the unmanned aviation system when carrying out search and rescue operations in wetted areas**

*Y. A. Shadrina<sup>1\*</sup>, A. V. Mokshin<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russian Federation

\* e-mail: yana.shadrina.00@inbox.ru

**Abstract.** The spread of mass diseases is a global problem today, which threatens the life and health of people. Predicting the spread of a new infection is important for taking timely measures to reduce the incidence. This article discusses the possibility of introducing a digital system into the health authorities, which will allow determining epidemic thresholds and promptly making management decisions based on statistical data. The system is based on the mean first passage time method, which is known in modern mathematical physics and used to analyze and theoretically characterize the processes of the so-called activation type. It is shown that this method can be directly adapted for a detailed and accurate analysis of the development of infectious diseases that can turn into epidemic and pandemic modes. The introduction of this technique is an element of the digitalization of modern medicine and can bring a positive economic effect. Coronavirus infection data was analyzed for 11 hospitals in the Republic of Mari El. Critical values have been determined, from which an explosive increase in the incidence begins during the third and fourth outbreaks of coronavirus infection. The proposed digital system

could be a useful tool for informing public health authorities about the spread of new infectious diseases that could lead to emergencies.

**Keywords:** digital system, pre-pandemic situation, prediction

### *Введение*

За последние 10 лет в России наблюдается интенсивное развитие средств информатизации здравоохранения, которые значительно повышают эффективность процессов в данной сфере [1]. Разработка продуктов с применением Big Data и машинного обучения открывает новые возможности в области здравоохранения. Одним из таких является сервис Webiomed, который на основе собранной информации может спрогнозировать развитие заболеваний на начальной стадии [2]. Внедрение информационных технологий в данную отрасль поддерживается со стороны государства. В 2019 года в России была создана федеральная программа «Создание единого цифрового контура здравоохранения на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения», которая направлена на создание эффективных механизмов взаимодействия медицинских организаций [3]. Необходимость использования больших объемов статистических данных, которые являются основой принятия управленческих решений в области здравоохранения, приводит к потребности создания новых информационных систем для медицинских учреждений. В данной работе предлагается новый инструмент информатизации для руководителей области здравоохранения – цифровая система, которая позволит своевременно реагировать на быстроменяющуюся ситуацию с протеканием эпидемии в регионе или стране.

Масштабы и скорость распространения инфекционных заболеваний могут приводить к эпидемиологическим катастрофам глобального характера [4]. Для того чтобы не допустить перегрузку системы здравоохранения и вовремя принять ограничительные меры для борьбы с эпидемией, необходим прогноз распространения инфекционных заболеваний. Внедрение данной системы, которая на постоянной основе будет собирать данные о количестве заболевших из медицинских учреждений, позволит избежать дестабилизацию в жизни общества.

Одним из известных методов прогнозирования заболеваемости является метод временных рядов [5]. В работе [6] авторы использовали модель ARIMA на основе временных зависимостей для прогнозирования новой коронавирусной инфекции. SEIR – еще один инструмент для прогнозирования эпидемий, использовался в исследовании Ченга Чжао, Бурку Тепекуле и др. [7]. Для определения эпидемических порогов гриппа и острых респираторных вирусных инфекций «Научно – исследовательским институтом гриппа» Министерства здравоохранения Российской Федерации была разработана методика расчета [8]. В случае рассмотрения новых инфекций недостатком данных моделей является отсутствие статистики за предыдущие периоды, на основании которой определяются необходимые параметры, поэтому модели получаются недостоверными.

## Метод и материалы

Зависимость среднего времени первого появления (СВП) от количества заболевших имеет сигмоидальную форму, поэтому мы можем рассматривать пандемию как процесс активационного типа. Для анализа параметров активационных процессов используют адаптированный метод СВП, предложенный Дж. Ведекиндом, Л. С. Бартелом и др. [9, 10]. Предложенная цифровая система базируется на данном методе. Для того чтобы разобраться в нем, обратимся к рисунку 1, на котором представлены кривые роста какого-либо активационного процесса в случае трех независимых экспериментов.

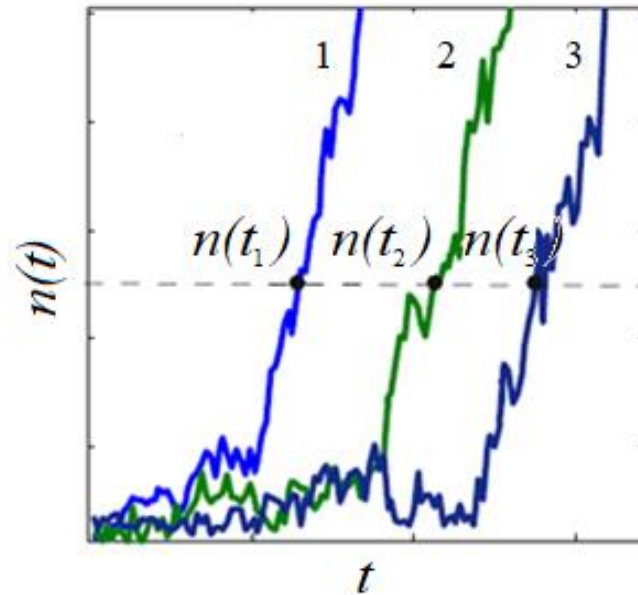


Рис. 1. Схематичные изображения траекторий кривых активационного процесса в результате проведения трех независимых экспериментов

Источник: Б. Н. Галимзянов, А. В. Мокшин. Молекулярная динамика при структурных трансформациях и фазовых переходах в неупорядоченных системах / Казан. ун-т, 2017. 88 с.

Определим время  $t_i$  для каждого эксперимента, когда кривая принимает значение  $n$  впервые. Тогда среднее время первого появления значения  $n$  можно представить в виде:

$$\tau(n) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M t_i(n), \quad (1)$$

где  $M$  – количество независимых экспериментов. По наличию плато, которое кривая СВП достигает при больших значениях  $n$  (рис. 2.а), можно определить

наиболее вероятный временной масштаб  $\tau_c$  появления критического значения  $n_c$ , которое в свою очередь соответствует максимуму производной  $\partial\tau(n)/\partial n$  (рис. 2.b).

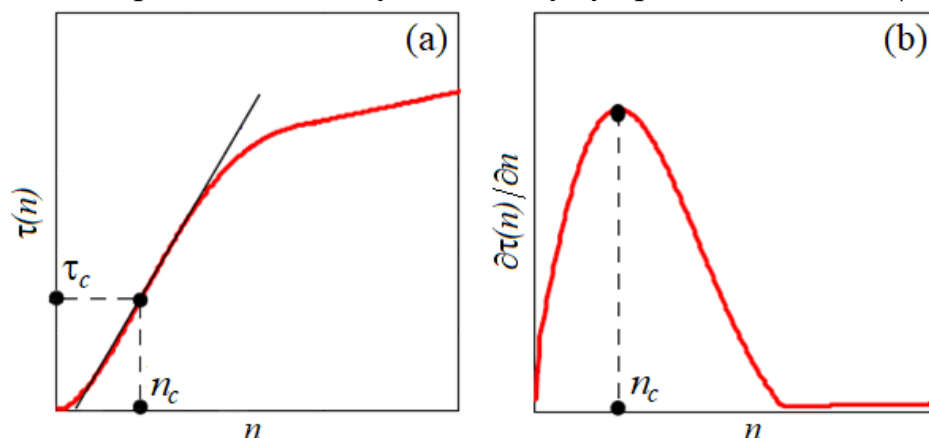


Рис. 2. а) СВПП – кривая; б) Производная от СВПП-кривой  $\partial\tau(n)/\partial n$

Источник: Б. Н. Галимзянов, А. В. Мокшин. Молекулярная динамика при структурных трансформациях и фазовых переходах в неупорядоченных системах / Казан. ун-т, 2017. 88 с.

Источником анализируемых данных является структурное подразделение Министерства здравоохранения Республики Марий Эл (РМЭ) – Медицинский информационно – аналитический центр.

### Результаты

На рисунке 3 представлен характер распространения коронавирусной инфекции для 11 больниц РМЭ в период с 20 ноября 2020 года по 13 февраля 2022 года.

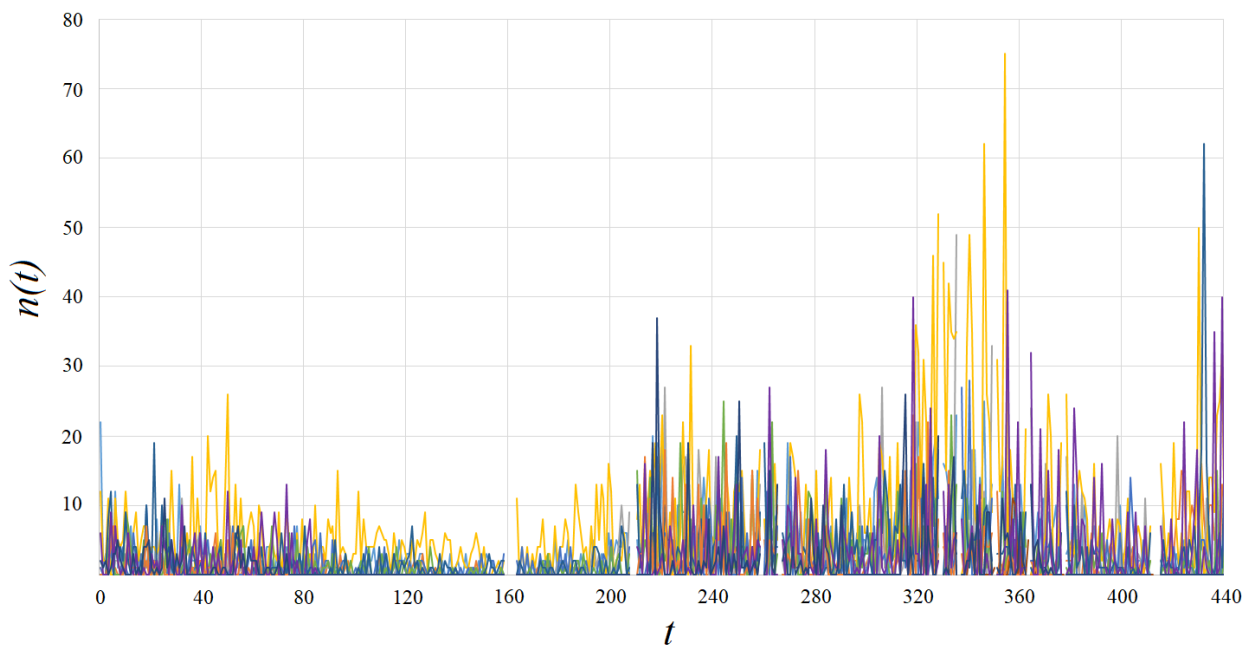


Рис. 3. Зависимость распространения коронавирусной инфекции от времени для 11 больниц РМЭ (сплошные линии). По осям отложено время, выраженное в днях ( $t$ ) и количество инфицированных ( $n$ )

На протяжении данного периода на территории Марий Эл было зафиксировано две вспышки коронавирусной инфекции, которые соответствуют третьей (164–280 день) и четвертой (281–410 день) волнам пандемии. Диапазоны критических значений количества заболевших и времени, с которых начинается взрывной рост в случае третьей и четвертой волны представлены на рисунке 4.

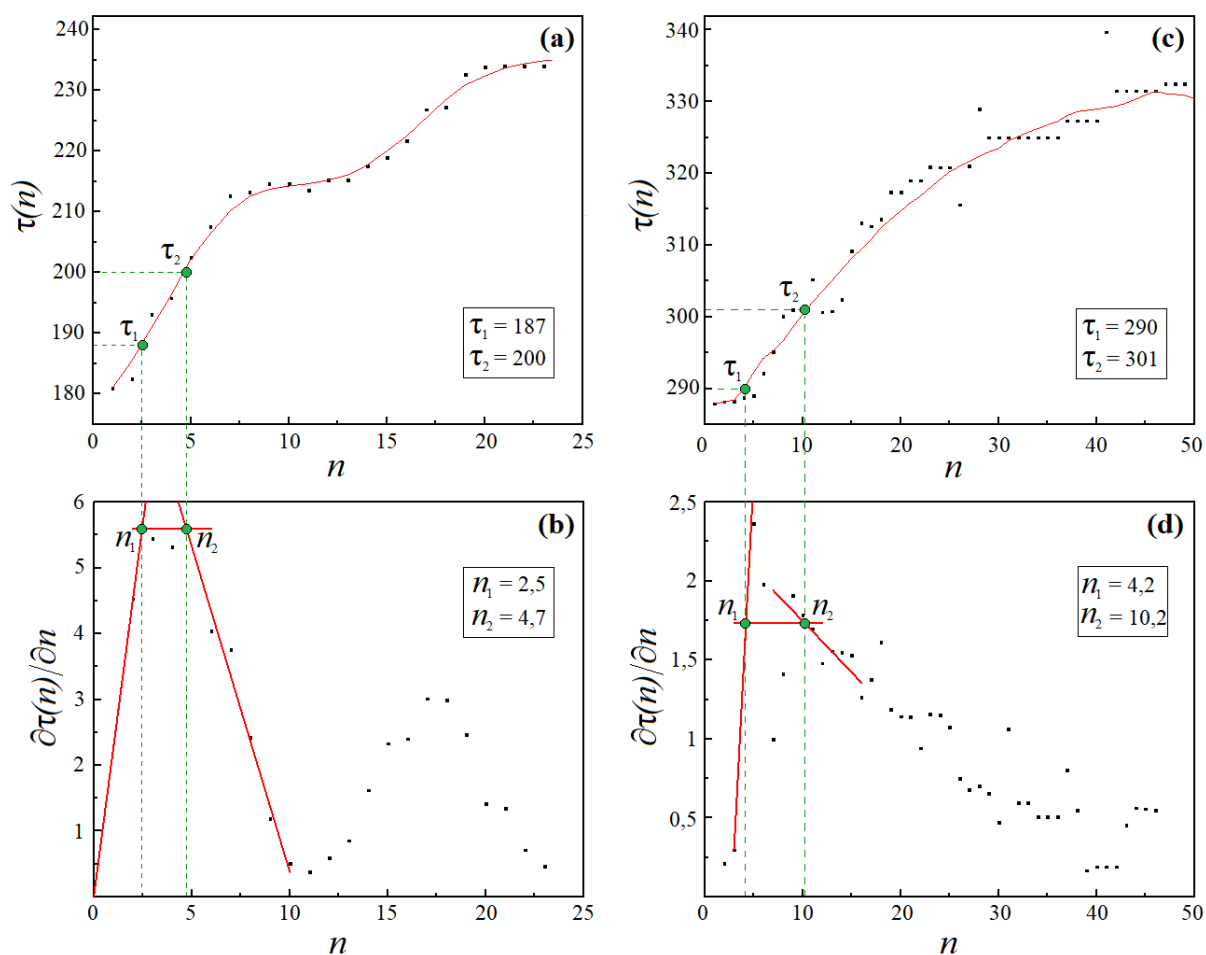


Рис. 4. (a) – СВПП–кривая для третьей волны, (c) – для четвертой волны. Кривые получены из усредненных графиков зависимости числа заболевших от времени для 11 больниц РМЭ. (b) – Первая производная от СВПП–кривой для третьей волны, (d) – для четвертой. На графиках по оси абсцисс представлено количество инфицированных. По оси ординат – среднее время первого появления (4.а, 4.с) и его первая производная (4.б, 4.д)

Для данной республики в случае третьей и четвертой волны таким же образом было определено критическое значение времени и количества заболевших,

которые должны находиться на кислородной поддержке, чтобы дать взрывной старт новой волны.

На рисунке 6 представлены диапазоны критических значений времени и количества задействованных аппаратов для кислородной поддержки.

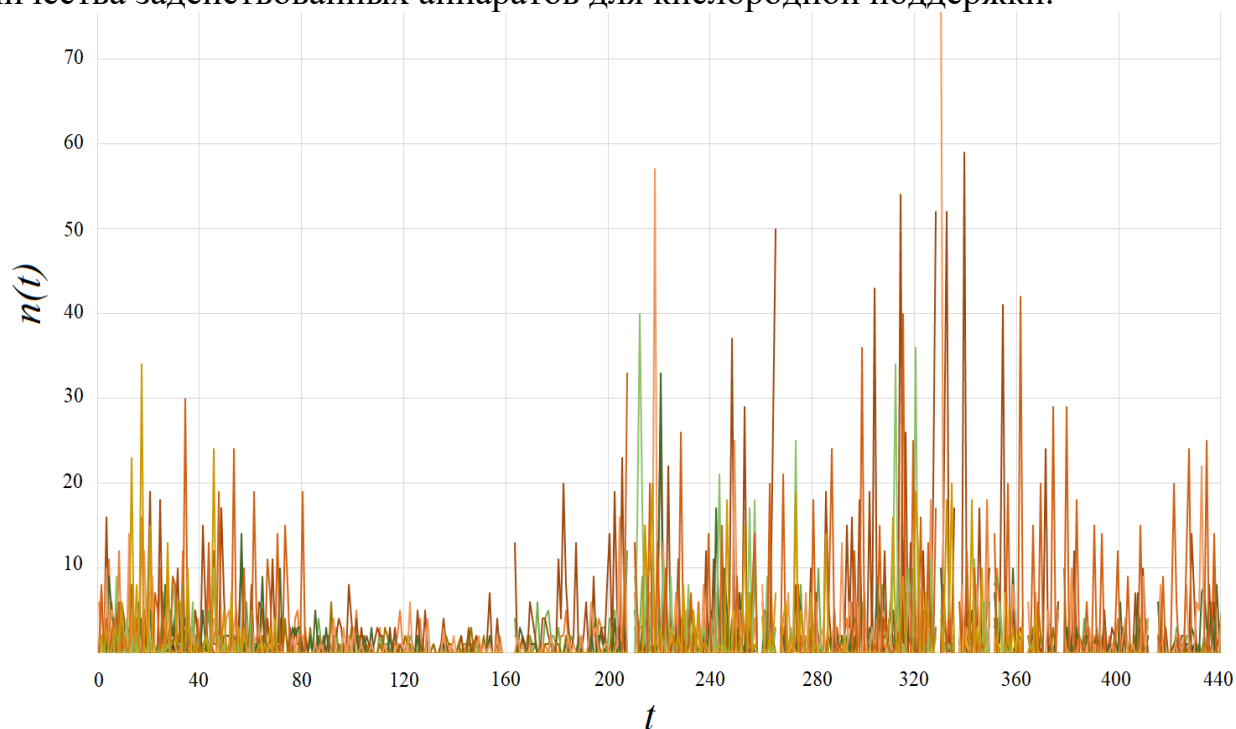


Рис. 5. Зависимость задействованных аппаратов для кислородной поддержки от времени для 11 больниц РМЭ (сплошные линии). По осям отложено время, выраженное в днях ( $t$ ) и количество инфицированных ( $n$ ).

### *Обсуждение*

Стоит отметить, что в случае классического метода СВПП точка перегиба сигмоидальной кривой определяется однозначно. Мы получаем диапазоны значений для критического порога количества заболевших и времени. Данные результаты можно объяснить тем, что больницы, которые мы рассматриваем, находятся в районах, которые отличаются уровнем ограничительных мер, системой здравоохранения и т. д. В случае третьей волны критическое значение времени в среднем наступает на 30 день с момента начала волны, для четвертой волны на 15 день. Вирус постоянно мутирует и развивается, поэтому критическое значение времени с каждой волной уменьшается, а количество заболевших увеличивается.

Поскольку точка перегиба сигмоидальной функции составляет 0,5 от координат максимального значения функции [11], то становится возможным определить день и количество заболевших, при которых очередная волна достигнет или начнет достигать своего пика. Но это возможно только при самом благоприятном и оптимистичном сценарии. Таким образом, если в качестве точки перегиба рассмотреть верхнее значение диапазона критических значений времени и

количества заболевших, то пик третьей волны будет приходиться на 244 день, а количество заболевших составит 21 человек. В случае четвертой волны – 319 день и 30 заболевших.

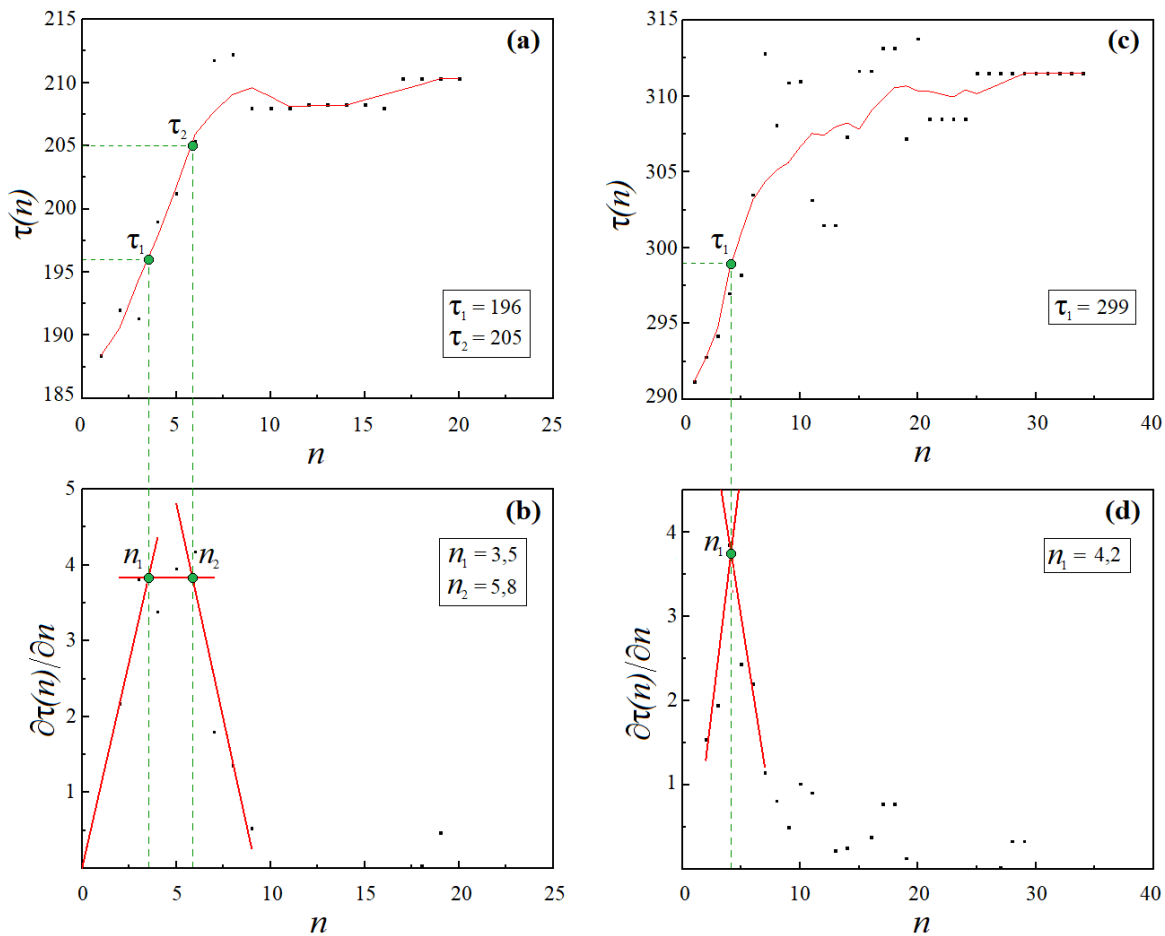


Рис. 6. (а) – СВПП–кривая для третьей волны, (с) – для четвертой волны. Кривые получены из усредненных графиков зависимости числа задействованных аппаратов для кислородной поддержки от времени для 11 больниц РМЭ. (b) – Первая производная от СВПП-кривой для третьей волны, (d) – для четвертой. На графиках по оси абсцисс представлено количество задействованных аппаратов для кислородной поддержки. По оси ординат – среднее время первого появления (б.а, б.с) и его первая производная (б.б, б.д)

### Заключение

Метод СВПП позволяет определить критические значения количества заболевших и времени, с которых начинается новая волна эпидемии. Также с помощью данного метода можно предсказать день и количество инфицированных, когда очередная вспышка эпидемии начнет достигать своего максимума. Аналитическая методика может быть использована не только для прогнозирования распространения коронавируса, но и для других инфекционных заболеваний, которые могут вызвать пандемию. Предложенная цифровая система может стать

хорошим инструментом, на который будет опираться правительство страны или региона, для оценки эпидемиологической ситуации и принятия обоснованных управленческих решений. Метод СВПП позволит оптимизировать нагрузку на медицинские учреждения, рассчитать минимальную потребность в лекарственных препаратах, коечном фонде, медицинском оборудовании и персонале, а также в средствах индивидуальной защиты, что в конечном итоге приведет к возможности снижения неэффективных затрат.

### ***Благодарности***

Авторы выражают благодарность Медицинскому информационно-аналитическому центру структурного подразделения Министерства здравоохранения РМЭ и лично руководителю центра Михайлову Эрнсту Геннадьевичу за отзывчивость и оказанную помощь при проведении данного исследования. Анатолий Васильевич Мокшин выражает признательность Фонду развития теоретической физики и математики «Базис».

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Липатов В. А., Зайцев И. Г., Северинов Д. А. О проблемах внедрения ИТ-систем в практическое здравоохранение // Бюллетень сибирской медицины. 2018. №17(1). – С. 177–190.
2. Платформа прогнозной аналитики и управления рисками в здравоохранении на основе машинного обучения Webiomed. – URL: <https://webiomed.ru/products/> (дата обращения: 30.04.2022).
3. Федеральный проект "Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)" на 2019-2024 г.г.: утв. Министерством здравоохранения Рос. Федерации от 21.11.2019 // Заместитель Министра здравоохранения Рос. Федерации. 2019.
4. Холиков И. Распространение эпидемий, пандемий и массовых заболеваний как глобальный вызов современности // Пути к миру и безопасности. 2020. № 2(59). – С. 27–40.
5. В. В. Захаров, Ю. Е. Балыкина. Балансовая модель эпидемии COVID-19 на основе процентного прироста // Информатика и автоматизация. 2021. №5. Р. 1034–1064.
6. Moftakhar L., Seif M., Safe M.S. Exponentially increasing trend of infected patients with COVID-19 in Iran: a comparison of neural network and ARIMA forecasting models // Iran Journal of Public Health. 2020. № 49. Р. 92–100.
7. A platform for short-term forecasting of intensive care unit occupancy during the COVID-19 epidemic in Switzerland / Cheng Zhao [et al.] // Swiss Med Wkly. 2020. № 150.
8. Методика расчета эпидемических порогов по гриппу и острым респираторным вирусным инфекциям по субъектам Российской Федерации: утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации // МР 3.1.2.0118. 2017.
9. Wedekind J., Strey R., Reguera D. New method to analyze simulations of activated processes // J. Chem. Phys. 2007. № 126.
10. Bartell L.S., Wu D.T. A new procedure for analyzing the nucleation kinetics of freezing in computer simulation // J. Chem. Phys. 2006. № 125.
11. Функция активации Softmax с Python. – URL: <https://www.brutalk.com/ru/brutalk-blog/view/funkciya-aktivacii-softmax-s-python-6046b4a524b71> (дата обращения: 30.04.2022).

© Я. А. Шадрина, А. В. Мокшин, 2022