

Демина Юлия Владимировна, студент
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
технический университет им. Р. Е. Алексеева»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ ГРИППА В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕГИОНА

Аннотация. В данной работе проведён анализ динамики распространения эпидемии гриппа в Нижегородской области. Целью работы является построение численной модели эпидемического процесса, проведение её анализа и выявление влияния эпидемии на социально-экономические показатели региона.

Ключевые слова: Численное моделирование, эпидемия гриппа, социально-экономические показатели.

Исследование проведено с использованием численного моделирования на основе SIR-модели для прогнозирования эпидемии гриппа. Показано, что социально-экономические показатели могут оказывать значительное влияние на распространение инфекции.

Численное моделирование – это использование математических моделей для представления сложных динамических процессов с упрощёнными предположениями. В Нижегородской области, где много транспорта и промышленности, часто возникают сезонные вспышки гриппа и других респираторных инфекций, что приводит к серьёзным социально-экономическим проблемам: снижению производительности, увеличению временной нетрудоспособности и нагрузке на систему здравоохранения.

Для эффективного контроля эпидемии и уменьшения влияния на экономику региона важно анализировать динамику заболеваемости и выявлять тенденции распространения инфекции. Применение численных методов помогает делать прогнозы для разработки мер профилактики и снижения негативных последствий.

SIR-модель), чтобы изучить распространение инфекционных заболеваний. Модель SIR использовалась для анализа эпидемических процессов в биологических популяциях и сейчас активно применяется для изучения вспышек инфекционных заболеваний среди людей.

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta SI \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I \end{cases}$$

где:

S – количество людей, которые могут заболеть.

I – число инфицированных,

R – число выздоровевших,

β – коэффициент передачи инфекции,

γ – коэффициент выздоровления (или выбытия из процесса передачи инфекции), это показатель, который отражает скорость выздоровления людей от болезни или выхода из процесса передачи инфекции.

t – время (в сутках).

В Нижегородской области за период с 2015 по 2024 годы были получены статистические данные о заболеваемости гриппом из официальных источников здравоохранения.

Коэффициенты β и γ были найдены на основе данных эпиднадзора. Для проведения численного эксперимента были использованы методы нелинейной регрессии и интегрального аппроксимирования при помощи языка программирования Python.



Получены значения коэффициентов для различных сезонов гриппа:

Для сильной вспышки (2017–2018 гг.): $\beta=0.29$, $\gamma=0.08$

Для средней по силе эпидемии (2021–2022 гг.): $\beta=0.18$, $\gamma=0.09$

Для решения системы уравнений применен метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности.

На графиках 1 и 2 показаны результаты моделирования:

Динамика заболеваемости гриппом в сезон высокой интенсивности (2017–2018)

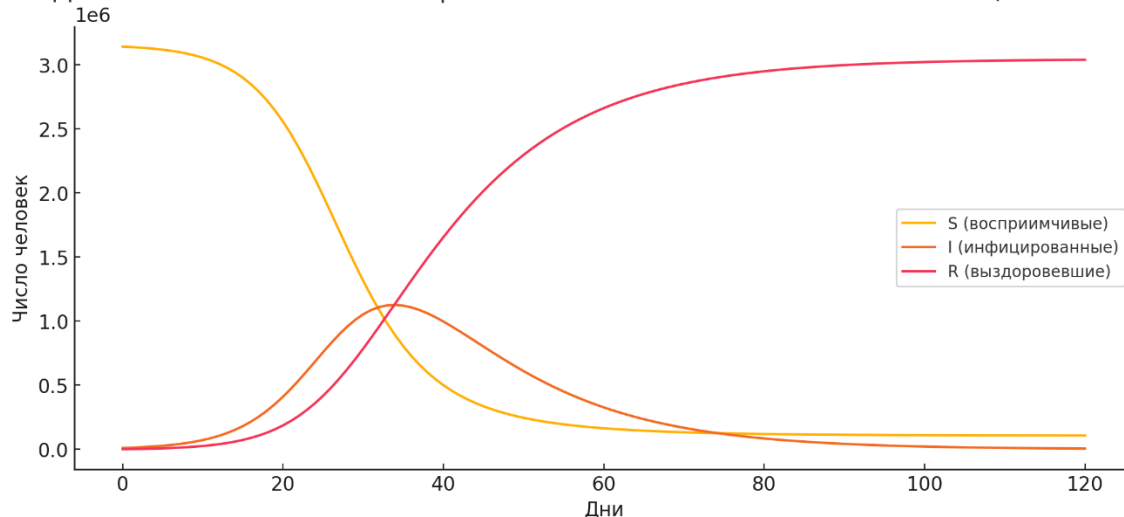


Рисунок 1 – Динамика заболеваемости гриппом в сезон высокой интенсивности (2017-2018 гг.)

Динамика заболеваемости гриппом в сезон средней интенсивности (2021–2022)

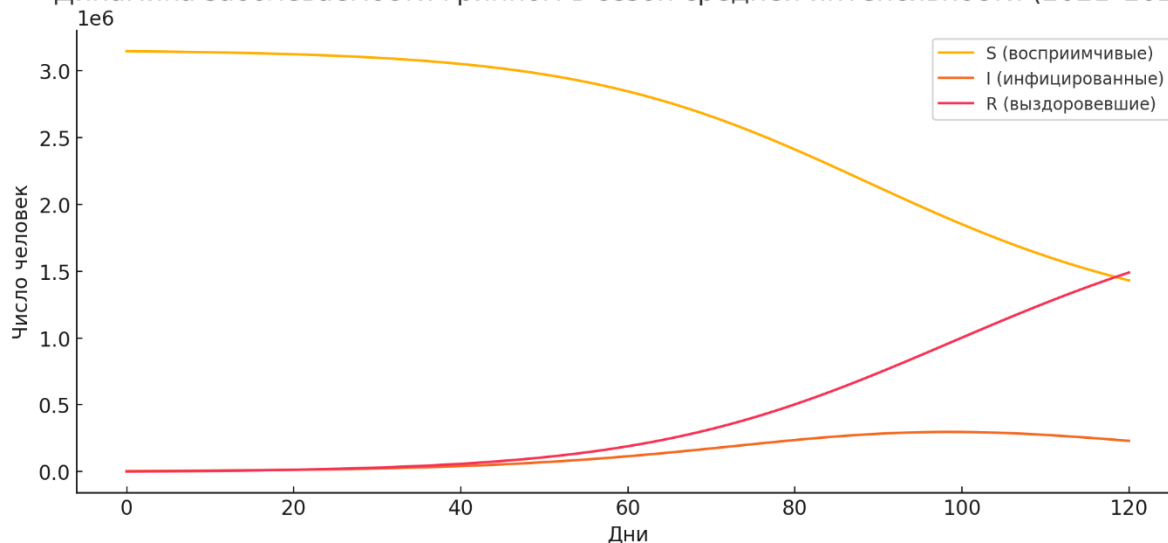


Рисунок 2 – Динамика заболеваемости гриппом в сезон средней интенсивности (2021-2022 гг.)

На графиках видно, что при высоком коэффициенте передачи эпидемия быстро достигает пика, а затем быстро спадает из-за уменьшения числа восприимчивых. В сезон с низким коэффициентом распространения эпидемия развивается медленнее и затрагивает меньше людей.

Для проведения дополнительного анализа была создана фазовая модель. Ниже представлен график, показывающий, как меняется количество заболевших и подверженных вирусам в течение эпидемии в разные сезоны.



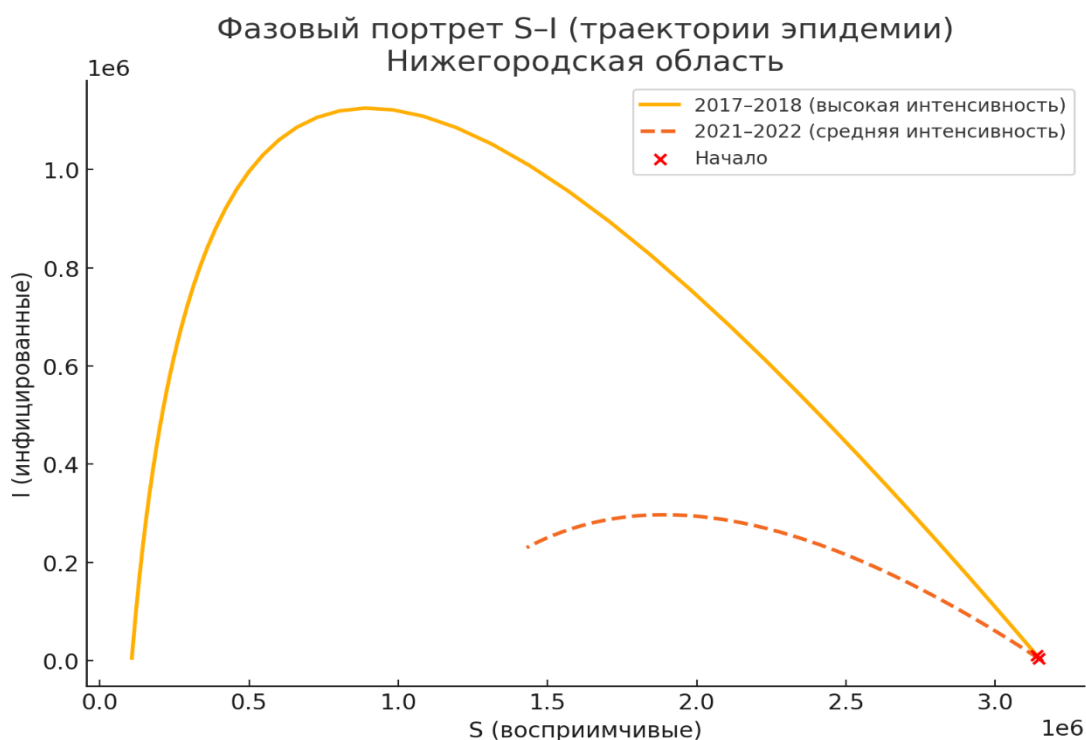


Рисунок 3 – график изменения числа людей, подверженных заражению и уже инфицированных в разные сезоны эпидемии.

Были обнаружены особенные точки в системе (устойчивые состояния).

$I=0$, $S=S_0$ – вырожденная точка (эпидемии нет);

$S=\gamma/\beta$, $I \neq 0$ критическая точка определяет возможность развития эпидемии: если количество восприимчивых превышает этот порог, то возможно возникновение вспышки.

Для SIR-модели особые точки проанализированы по матрице Якоби. При стандартных коэффициентах точка $(S_0, 0)$ неустойчива, что соответствует возможности начала эпидемии. После достижения порога устойчивости система возвращается к стабильному состоянию – эпидемия исчезает.

Различие в характере траекторий сезонов с разными коэффициентами показывает влияние коллективного иммунитета, скорости распространения и эффективности профилактических мер.

Влияние на социально-экономические показатели проявляется через определенные факторы: увеличение периода болезни приводит к финансовым убыткам; рост нагрузки на здравоохранение; ухудшение качества продукции и услуг, а также увеличение времени на выполнение задач – все это связано с низкой эффективностью в работе; дополнительные расходы, вызванные введением ограничений.

Использование современных моделей помогает предсказать развитие эпидемии и эффективно корректировать профилактические меры, что способствует улучшению жизни и снижению экономических потерь в регионе.

Список литературы:

1. Масленников, Д. А. Прогнозирование региональной составляющей системы экономической безопасности Российской Федерации на основе имитационного моделирования / Д. А. Масленников, Л. Ю. Катаева, Е. А. Романова // Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы: Материалы VI Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 31 мая 2018 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2018. – С. 181-185.



2. Kloppers, P. & Greeff, Johanna. (2013). Lotka–Volterra model parameter estimation using experiential data. *Applied Mathematics and Computation*. 224. 817-825.
3. Normatov, Dzhakhongir & Mercorelli, Paolo. (2022). Parameters Estimation of a Lotka-Volterra Model in an Application for Market Graphics Processing Units. 935-938.
4. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор). URL: <https://rospotrebnadzor.ru/> (дата обращения: 13.11.2024)
5. Исследование влияния эпидемий на социально-экономические показатели региона провели Катаева Л.Ю., Масленников Д.А. и Федосеева Т.А. в 2023 году. Они изучили влияние эпидемий на социально-экономические показатели и опубликовали результаты в журнале "Фундаментальные исследования".

