

Если поместить такую капсулу в вязкую диэлектрическую жидкость и освещать циклически чередующимися вспышками соответствующих частот, то локальные поляризационные заряды станут направленно перемещаться по поверхности капсулы, увлекая за собой диполи жидкости, а сама капсула поплывёт вперёд, и у нас получится очень быстрый и сверх миниатюрный мобильный микроробот.

Такому нано роботу не требуются линии связи и управления, вычислительное устройство и источник энергии. Всё, что нужно для его управляемого движения в жидкости — это соответствующее внешнее освещение. На основе этого принципа можно создать более сложные наномеханические устройства:

- ползающего робота-амёбу, способного скользить по гладкой поверхности, и «умную бумагу»;
- робота с гибкими плавниками или крыльями;
- наноманипуляторы с очень точным позиционированием, или вращательный привод диаметром порядка 10 нм;
- другие полезные устройства: фотодинамические молекулярные отвёртки, пинцеты, ножницы, захваты для манипуляторов, паяльники;
- активные молекулы можно разместить на внешней поверхности гибких световодов,;
- или на внутренней поверхности прозрачных трубок, получив систему насосов и активных трубопроводов;
- из нанотрубки можно сделать резервуар с управляемым вентилем, способный засасывать любые жидкости или отдельные молекулы и когда нужно отдавать их обратно. В такой "тюбик" длиной 1 мм можно в определённом порядке упаковать миллионы разных молекул или нанокapsул, и потом в том же порядке извлекать их обратно. Такой "тюбик" с активными веществами, внедрённый в живую клетку, сможет долгие годы по сигналу управлять происходящими в ней процессами.

Заключение. Это далеко не все возможности. На основе этого принципа можно также создать элементы запоминающих и вычислительных устройств, ассоциативную и вычисляющую память, молекулярные и молекулярно-кристаллические вычислительные структуры, реализующие в принципе любые логические функции за один цикл. Такие вычислительные системы будут иметь чрезвычайно малые размеры, большую надёжность и достаточно высокие рабочие частоты.

Список цитируемых источников

1. URL: <http://www.ngpedia.ru/id250992p1.html> (дата обращения 01.05.2025).
2. Физико-химические основы процессов (Взаимодействие с переносом заряда). — URL: [https://necten-sea.ru/articles/fiziko-himicheskie_osnovy_protessov_\(vzaimodeystvie_s_pereunosom_zaryada\)/](https://necten-sea.ru/articles/fiziko-himicheskie_osnovy_protessov_(vzaimodeystvie_s_pereunosom_zaryada)) (дата обращения 01.05.2025).
3. Одномолекулярные аналоги электронных компонентов. Часть 1. Перенос заряда через одну молекулу. — URL: <https://www.cta.ru/articles/soel/2023/2023-7/169728/> (дата обращения 01.05.2025).

УДК 51.76

С. М. Нерода, Ю. П. Нерода

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,
Барановичи, Республика Беларусь*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Введение. В условиях глобальных эпидемических вызовов (например, COVID-19) математическая эпидемиология становится неотъемлемым инструментом для анализа и прогнозирования распространения инфекционных заболеваний. Существует множество математических моделей для прогнозирования распространения инфекционных заболеваний, но в экстремальных условиях, когда доступно лишь ограниченное количество данных, ученым необходимо быстро определить возможное развитие эпидемии. Модель распространения инфекционных заболеваний SIR была предложена шотландскими учёными Уильямом Огилви Кермаком и Андерсоном Греем Маккендриком около 100 лет назад, но она не теряет актуальности и сейчас. Основное достоинство этой модели — её простота, поскольку для расчетов необходим лишь базовый набор данных о текущей эпидемиологической ситуации.

Основная часть. Базовая модель SIR (где S — восприимчивые (susceptible), I — инфицированные (infectious) и R — выздоровевшие (removed)), описывает динамику распространения заболевания в рамках одной эпидемии, не учитывая рождаемость и смертность населения. Целью моделирования является отслеживание количества индивидов в каждой из групп в любой момент времени t . Обозначаем эти группы соответственно $S(t)$, $I(t)$ и $R(t)$ (рисунок 1) [1].



Рисунок 1 — Диаграмма развития болезни для простой модели SIR

По данной модели с развитием эпидемии происходит последовательное «перетекание» людей из одной группы в другую. Модель SIR предполагает, что суммарная численность людей во всех трех группах — неизменяемая и равна N . Для прогнозирования развития эпидемии (т. е. расчета количества людей для каждой группы в произвольный день) нам необходимо знать следующие данные: начальная численность людей в каждой группе (S_0, I_0, R_0), а также правила изменения, представленные в виде производных:

а) дифференциальное уравнение для изменения S имеет следующий вид: $\frac{dS}{dt} = -\beta IS$. Так как количество восприимчивых уменьшается, перед формулой ставится знак «-». Количество уязвимых людей сокращается пропорционально количеству контактов уязвимых с зараженными. Таким образом, появляется коэффициент интенсивности заражения β .

б) дифференциальное уравнение для изменения R имеет следующий вид: $\frac{dR}{dt} = \gamma I$, где γ — коэффициент интенсивности выздоровления.

в) дифференциальное уравнение для изменения I имеет следующий вид: $\frac{dI}{dt} = \beta IS - \gamma I$. Число зараженных увеличивается за счет перехода людей из группы S в группу I и уменьшается вследствие выздоровления, сопровождающегося переходом из группы I в группу R .

Таким образом, появляется система из трех дифференциальных уравнений, которая и называется моделью SIR. Для четкого понимания развития инфекционного заболевания и визуализации, используя полученные данные, можно построить график.

Разработана программа, визуализирующая динамику распространения инфекции на основе введенных параметров в среде PyCharm на языке Python, который прост и удобен в освоении. Приложения на Python запускаются на большинстве устройств, так как язык поддерживается ведущими операционными системами. Для примера демонстрации взят город Барановичи, и представлен прогноз развития пандемии COVID-19 за временной промежуток в 365 дней.

На рисунке 2 представлен график рассматриваемой модели.

График также можно построить с помощью других специализированных программ. С использованием тех же данных на рисунке 3 построен график в Microsoft Excel — широко известной программе для работы с электронными таблицами компании Microsoft.

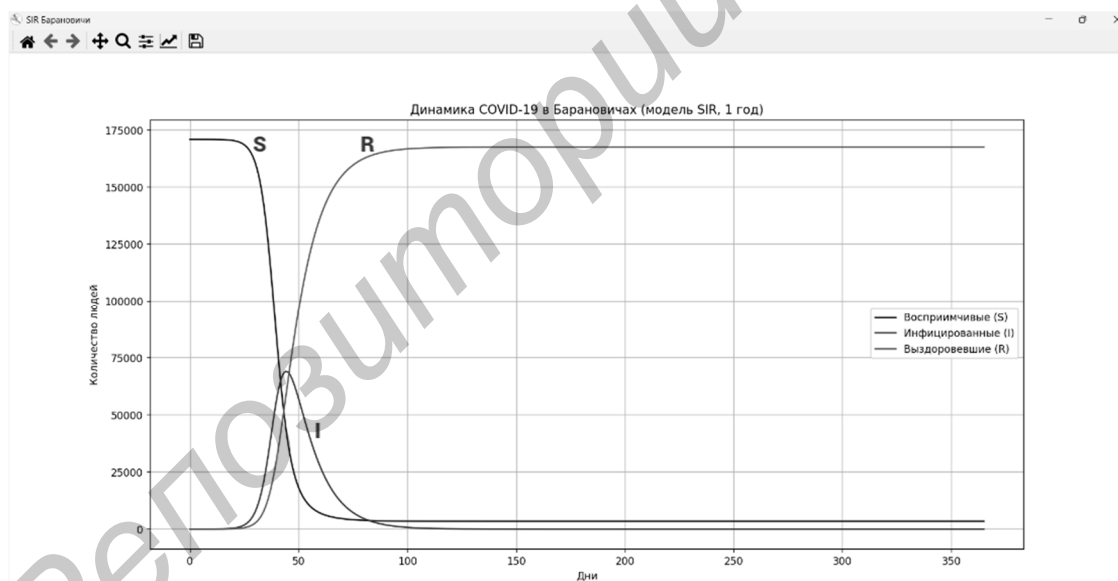


Рисунок 2 — График модели SIR в разработанной программе

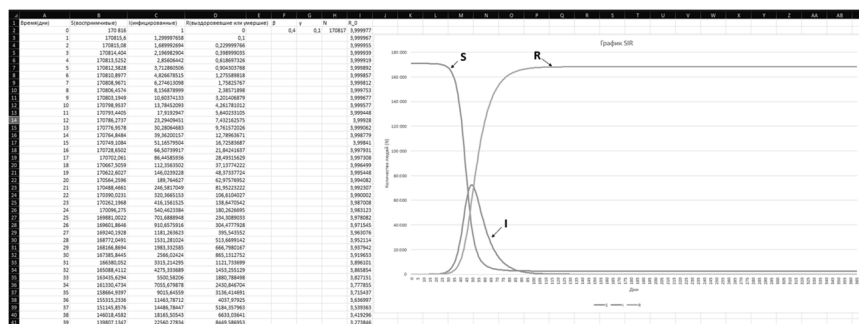


Рисунок 3 — График модели SIR в Microsoft Excel

На графике видно, что развитие эпидемиологической обстановки имеет волнообразный вид. При малом количестве заражений в начале эпидемии болезнь стремительно развивается в течении короткого времени и, после прохождения пика, так же резко заканчивается.

При описании поведения эпидемии используется очень важный показатель R_0 — базовый репродуктивный коэффициент. Данный коэффициент показывает, сколько в среднем инфицированный человек может заразить людей за период эпидемии. Его формула: $R_0 = \frac{\beta S_0}{\gamma}$. Одна из главных задач системы здравоохранения — уменьшить данный коэффициент. Так как базовый репродуктивный коэффициент обратно пропорционален интенсивности выздоровления, то увеличение γ является одним из решений. Однако, даже развитая система здравоохранения при правильном и своевременном лечении, не может значительно повысить коэффициент интенсивности выздоровления. Поэтому чаще всего упор идет на снижение показателей β (коэффициент интенсивности заражения) и S_0 (начального количества уязвимых людей). Интенсивность заражения зависит от вероятности контакта и вероятности передачи болезни, поэтому во время сложной эпидемиологической обстановки может вводиться карантин, рекомендуется носить маски и соблюдать правила гигиены. Уменьшение показателя S_0 может быть достигнуто путем вакцинации населения.

Помимо классического подхода SIR, современная эпидемиология предлагает ряд усовершенствованных моделей, таких как SEIR-модель с учётом этапа инкубации, SIRS-модель, предусматривающая возможность повторного заражения, и агентные модели (ABM), способные детально симулировать взаимодействия индивидуумов.

Одной из усовершенствованных моделей является SEIRS-модель — объединение SEIR- и SIRS-моделей в одну. Ее отличие заключается в добавлении новых показателей: появляется новая группа людей E (exposed) — инкубированные (индивиды болеют, но не заразны, и со временем полностью заболевают); учитывается, что по истечении периода иммунитета выздоровевшие лица вновь становятся восприимчивыми S; используются дополнительные коэффициенты α (скорость перехода из инкубационного состояния в инфицированное) и σ (скорость потери иммунитета). Данные коэффициенты учитываются и дополняют описанные ранее дифференциальные уравнения SIR. Дифференциальное уравнение для изменения E имеет следующий вид:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \alpha E.$$

Усовершенствовав проект Microsoft Excel, создана таблица с данными и построен график SEIRS-модели (рисунок 4).

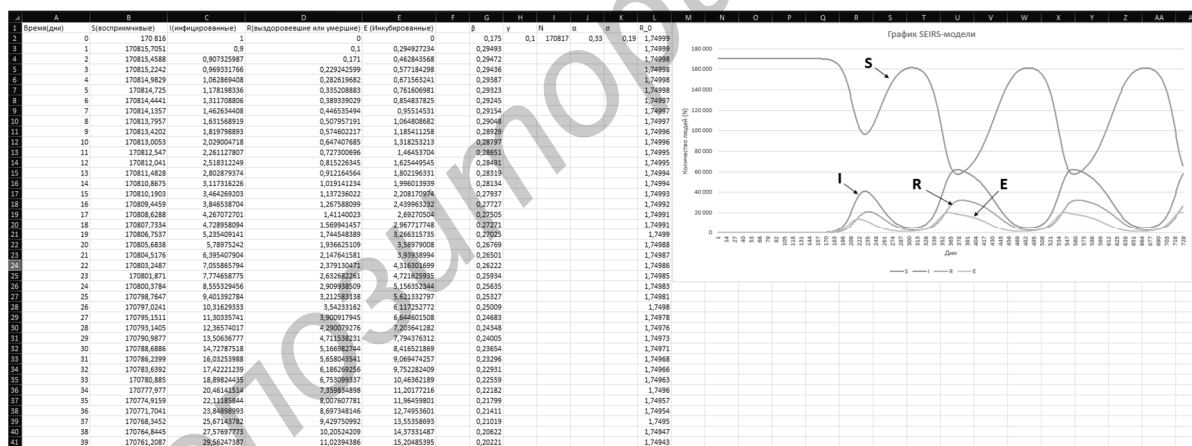


Рисунок 4 — Проект Microsoft Excel для построения графика SEIRS-модели

Заключение. Эпидемии, пандемии являются одной из самых страшных угроз. В различные времена они начинались неожиданно и уносили бесчисленное количество человеческих жизней. В современном мире особое внимание уделяется мониторингу эпидемиологической ситуации, что позволяет своевременно реагировать на вызовы и предотвращать возможные глобальные последствия. Однако, некоторые инфекционные заболевания могут стать вызовом для всего мира, как это произошло с пандемией COVID-19, которая затронула системы здравоохранения, экономику и общественную жизнь. В подобной ситуации математические методы прогнозирования являются надежным инструментом для принятия быстрых и правильных решений в борьбе с заболеванием. В работе наглядно продемонстрирован принцип работы модели SIR при помощи проектов, разработанных на основе информационных технологий.

Список цитируемых источников

1. Электронная библиотека БГУ. Обзор компартментных моделей динамики распространения инфекционных заболеваний [Электронный ресурс]. — 2025. — Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/284945/1/415-418.pdf> — Дата доступа: 07.05.2025.