

АНАЛІЗ ЕПІДЕМІЇ ГРИПУ ЗАСОБАМИ ДЕТЕРМІНОВАНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Анотація. У роботі проаналізовано статистику захворюваності при епідемії грипу 2010–2011 рр. Засобами детермінованого моделювання розраховано ряд епідеміологічних показників та розтлумачено значення вирахованих показників.

Ключові слова: епідемія грипу, SIS-модель.

Аннотация. В работе проанализирована статистика заболеваемости при эпидемии гриппа 2010–2011 гг. Средствами детерминированного моделирования рассчитан ряд эпидемиологических показателей и растолковано значение высчитанных показателей.

Ключевые слова: эпидемия гриппа, SIS-модель.

Abstract. The sickness statistics of flu epidemic in 2010–2011 is analyzed. A set of epidemic indexes are calculated by means of deterministic simulation. The meaning of calculated indexes is explained.

Keywords: flu epidemic, SIS-model.

1. Вступ

Актуальною проблемою охорони здоров'я як в усьому світі, так і в Україні, є контроль за гострими респіраторними інфекціями (ГРІ), грипом та прогнозування пандемій. Виключна розповсюдженість, матеріальні збитки, соціальні та медичні наслідки переконливо підтверджують необхідність боротьби з ними. За даними Державної санітарно-епідеміологічної служби, у 2010 році від грипу та його ускладнень в Україні померли 425 осіб [1]. У зв'язку із надзвичайною мінливістю збудника грип і досі залишається некерованою інфекцією, що обумовлює необхідність подальшого його дослідження для вирішення цієї проблеми у глобальному масштабі.

2. Матеріали та методи дослідження

Детерміновані математичні моделі [2], також відомі як моделі з відсіками, дають спробу описати і пояснити, що загалом відбувається у популяції. Вони підходять і для населення з великою чисельністю. Ці моделі поділяють індивідууми у різні підгрупи (відсіки). Модель SEIR (Susceptible – вразливий, Exposed – заражений, Infected – хворий та Recovered – видужалий), наприклад, включає в себе чотири відсіки, представлені як вразливі, заражені, хворі і здорові (ті, що перехворіли і вже мають імунітет до неї). Крім того, моделі включають швидкість переходу між відсіками, тобто швидкість того, як вразливий може стати зараженим, заражений хворим, та ін. Найвідомішою швидкістю переходу є сила інфекції або швидкість атаки, яка вимірює швидкість, з якою вразливі стають хворими.

Розглянемо просту епідемічну модель [2], в якій припускається, що довільна частина популяції, яка складається із сталої кількості (N) осіб і може знаходитися лише в двох станах: вразливому (S) і інфікованому (I), причому $S + I = N$. Припустимо, що кожна інфікована особа є носієм вірусу, який випадковим чином вибирає в доступному просторі потенційну “жертву” із швидкістю Φ за одиницю часу – силою інфекції (на пошук і зараження однієї особи в середньому витрачається $1/\Phi$ одиниць часу). Сила інфекції – це є швидкість, з якою вразливі особи стають хворими. Тобто за відповідний період хворіє кожна $1/\Phi$ особа. Сила інфекції визначається як $\Phi = \beta I$, де β враховує дві речі. Це швидкість випадкових контактів між вразливими та хворими особами і ймовірність успішного зараження хворобою під час контактів. Тобто β – це є середня кількість адекватних контактів особи за одиницю часу.

Введемо сталу середню швидкість “імунізації” за одиницю часу a , відому також як середню швидкість одужання. Тобто $1/a$ – середній період інфікування. Маємо таке рівняння динаміки частки інфікованих осіб:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta(t)S(t)I(t) + a(t)I(t), \\ \frac{dI}{dt} &= \beta(t)S(t)I(t) - a(t)I(t).\end{aligned}\tag{1}$$

При цьому

$$S + I = N.\tag{2}$$

Вхідні дані, дані епідемії грипу 2010–2011 рр. взято з бази даних "Google моніторинг грипу" [3]. Щотижня мільйони користувачів у всьому світі шукають у мережі інформацію, пов'язану з питаннями здоров'я. Зрозуміло, що кількість пошуків, пов'язаних із грипом, зростає в сезон цього захворювання, поширеність запитів щодо алергії збільшується у відповідний сезон, а кількість пошуків щодо сонячних опіків найвища влітку. Такі явища можна дослідити за допомогою статистики пошуку у Google. Експерти Google виявили чітку залежність між кількістю користувачів, які шукають пов'язану з грипом інформацію, та кількістю людей із симптомами цього захворювання. Звичайно, не кожен, хто шукає інформацію про грип, хворіє, однак, якщо проаналізувати загальну кількість таких пошукових запитів, простежується певна закономірність. Експерти з Google порівняли кількість відповідних запитів із традиційними системами нагляду за грипом і виявили, що їхня розповсюдженість зростає саме в сезон грипу. Підраховуючи загальну кількість таких пошукових запитів, можна визначити поширеність грипу в різних країнах і регіонах у всьому світі.

3. Основна частина

Вхідні дані бази даних "Google моніторинг грипу" представляють собою кількість запитів у кожний момент часу. Згідно з офіційними даними, протягом епідемії 2010–2011 рр. на грип перехворіло 17% українців, тобто приблизно 7 млн осіб [1]. Маючи реальні дані кількості населення захворілих на грип, можливо отримати з вхідних даних "Google моніторингу грипу" реальні цифри кількості хворих у кожен момент часу.

Для SI-моделі потрібно оцінити такі параметри:

- сила інфекції;
- швидкість одужання.

Згідно з [4], особи одужають від грипу протягом 7 днів. Тому як значення a взято 0,14, що є незмінним протягом епідемії.

Введемо з (1) формулу розрахунку сили інфекції.

З (2) випливає, що

$$S(t) + I(t) = N \Rightarrow \frac{dS}{dt} + \frac{dI}{dt} = 0.\tag{3}$$

З (1) та (3) отримуємо:

$$\frac{dI}{dt} = (\beta(t)N - a)I(t) - \beta(t)I(t)^2.\tag{4}$$

З (4) отримуємо силу інфекції:

$$\beta(t)I(t) = \frac{aI(t) + \frac{dI}{dt}}{S(t)}. \quad (5)$$

Приведемо (5) до ітераційної формули:

$$\beta(t)I(t) = \frac{aI(t) + I(t+1)}{S(t)}. \quad (6)$$

Формула швидкості ефективних контактів має такий вигляд:

$$\beta(t) = \frac{aI(t) + I(t+1)}{S(t)I(t)}. \quad (7)$$

Отримані на основі формул (6) та (7) результати зображені на рис. 1 та 2.

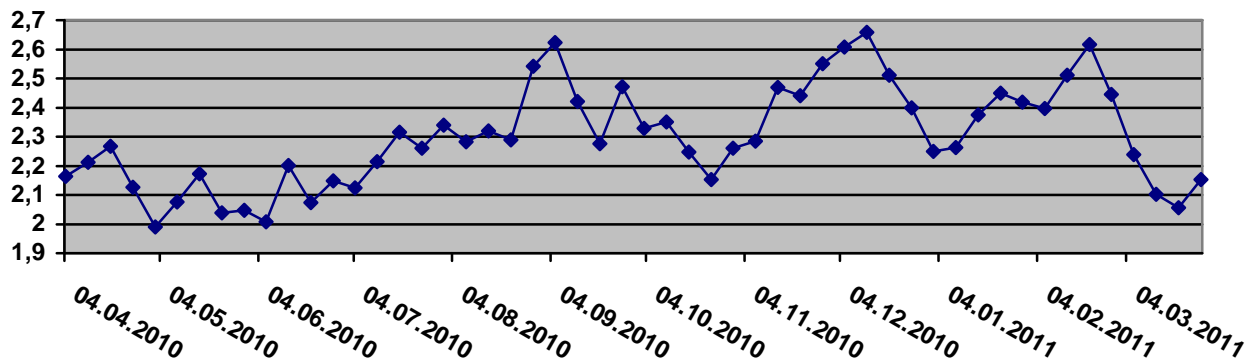


Рис. 1. Діаграма ефективних контактів за період з 04.04.2010 по 03.04.2011

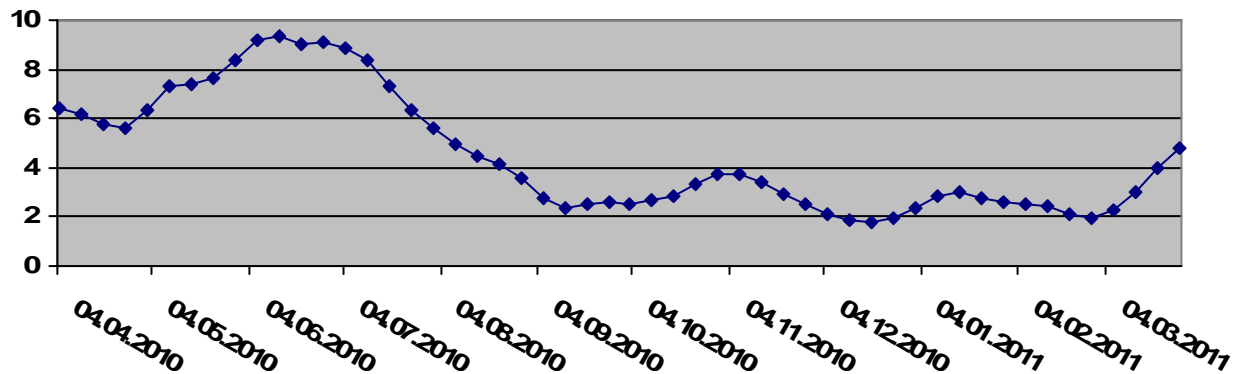


Рис. 2. Діаграма частки сили інфекції ($1/\Phi(t)$) за період з 04.04.2010 по 03.04.2011

4. Висновки

1. З визначення сили інфекції випливає:

- а) у літній період хворіє кожен 8 житель. Максимальне значення 9,33 досягнуто 13.06.2010;
- в) перед початком першої хвилі епідемії (07.11.2010):
 - на грип хворів кожен 8,39 українець;
 - кількість адекватних контактів становить 2,23;
- с) у час піку епідемії (19.12.2010):
 - хворіє кожен 2,35 українець;
 - кількість адекватних контактів становить 2,51;

- г) між першою та другою хвилями епідемії (16.01.2011):
- хворіє кожен 2,97 українець;
 - кількість адекватних контактів становить 2,37;
- д) на час піку другої хвилі епідемії (27.02.2011):
- хворіє кожен 1,97 українець;
 - кількість адекватних контактів становить 2,45;
2. Адекватність результатів моделювання підтверджується коефіцієнтом кореляції між силою інфекції та статистикою захворюваності на грип, що становить 0,9902167.
 3. Детерміновані моделі дозволяють описати спалах епідемії і досягнення її пікового значення. При цьому вимагається, порівняно з SIR-моделлю, менше інформації, а саме лише відомості про швидкість розповсюдження вірусу(сила інфекції) та значення швидкості імунізації.
 4. Ефективним заходом для зниження епідемічного процесу, що, безумовно, впливає на характер кривих на рис. 1 та 2 і параметра моделі – сили інфекції, є введення карантинних заходів. Найефективнішим методом попередження небажаних наслідків грипу є своєчасне звернення за медичною допомогою та ранній початок лікування (в перші 2 доби).
 5. Експоненційний ріст кількості інфікованих у будь-якій популяції свідчить про відсутність захисних механізмів або їх повну неефективність.
 6. Миттєва швидкість поширення вірусу значною мірою залежить від руху вірусу в межах популяції.
 7. Стан колективного імунітету популяції відносно зараження певним вірусом є головною загрозою. Показано, що навіть віруси, які розповсюджуються випадковим чином [5], отже, є найповільнішими, але здатними швидко вразити міста і країни.
 8. Спад спалахів епідемії є наслідком введення запобіжних заходів органів охорони здоров'я [1]. До того ж, частина осіб, які одужали, так і залишаються під загрозою захворювання на ГРЗ, а при розширенні популяції з'являються нові особи, які також вразливі для вірусів. Тому регулярно можуть відбуватися повторні епідемічні спалахи.
 9. Подальші дослідження будуть присвячені дослідженням впливу метеоумов на розвиток епідемії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Офіційний сайт державної санітарно-епідеміологічної служби [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ses.gov.ua>.
2. Чорней І.М. Математичне та програмне забезпечення геоінформаційних технологій в епідеміології: математичні моделі для моделювання інфекційних захворювань / І.М. Чорней // Складні системи і процеси. – 2010. – № 2. – С. 20 – 33.
3. Офіційний сайт "Google моніторинг грипу" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.google.org/flutrends/intl/uk/about/how.html>.
4. Захворювання органів дихання в практиці сімейного лікаря: навч. посіб. для лікарів-інтернатів та лікарів-слухачів закладів післядипломної освіти. – Полтава, 2008. – 252 с.
5. Марцапенко В.П. SIR-моделювання епідемії гострих респіраторних захворювань / В.П. Марцапенко, Н.В. Цяпа // Медична інформатика та інженерія. – 2009. – № 4. – С. 65 – 69.

Стаття надійшла до редакції 18.01.2012