

О.Ю. Пшеничний, І.М. Чорней, Н.Б. Шаховська, В.В. Литвин
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра інформаційних систем та мереж

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ВІРУСНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

© Пшеничний О.Ю., Чорней І.М., Шаховська Н.Б., Литвин В.В., 2010

Розглянуто найпотужніші та найпоширеніші засоби моделювання та прогнозування поширення вірусних захворювань, проаналізовано можливість їх застосування в умовах України та визначено напрям досліджень у галузі прогнозування та аналізу розвитку епідемій.

Ключові слова: епідемія, вірусне захворювання, прогнозування поширення епідемії, стримування епідемії, моделювання, програмна система.

The article discusses most powerful and wide known products for modeling and predicting the spread of viral diseases, and also analyses opportunities of their usage in Ukraine circumstances. Also this paper specifies direction for future research in epidemic spreading prognostication branch.

Keywords: epidemic, viral disease, epidemic spreading prediction, epidemic containment, modeling, software system.

Вступ

Епідеміологія — наука про закономірності виникнення, поширення й плин хвороб, що виявляють при популяційних дослідженнях [1].

Вірусологія (*вірус* і *логос*) — галузь науки, яка вивчає властивості вірусів людини, тварин, рослин, бактерій, грибів і процеси, котрі вони спричиняють в організмі чутливих хазяїв, розробляє методи діагностики, лікування та профілактики вірусних інфекцій. [2]

Основні напрями досліджень:

- Вивчення властивостей вірусів людини, тварин, бактерій, рослин та інших організмів, особливостей їх взаємодії з клітиною, молекулярно-біологічних механізмів організації та експресії геному вірусів.
- Вивчення патогенезу вірусних інфекцій, зокрема людини та тварин, молекулярних механізмів ураження різних органів і систем.
- Розроблення методів індикації вірусів і методів діагностики спричинюваних ними інфекційних захворювань.
- Вивчення закономірностей циркуляції вірусів у різних біоценозах.
- Розроблення заходів боротьби з вірусними інфекціями та їх профілактики.
- Розроблення нових біотехнологій зі створення ефективних діагностичних і вакцинних препаратів, їх впровадження.
- Експериментальне розроблення методів і засобів лікування вірусних інфекцій, їх впровадження [2].

Основною проблемою предметної області є велика кількість даних та критеріїв аналізу даних для адекватного прогнозування. Тому необхідне застосування комп'ютерної техніки для аналізу даних про захворювання. І при цьому більшість систем імітаційного моделювання, що використовуються сьогодні, не пристосовані до таких завдань і не дають змоги досягти високої якості прогнозування. Метою цієї статті є збирання інформації про системи моделювання поширення вірусних епідемій, що застосовуються нині, та аналіз їхніх недоліків та можливостей вдосконалення.

Метою нашої роботи є вивчення та пошук закономірностей поширення вірусів, вивчення ефективності різних засобів боротьби з епідеміями за заданих обставин та створення системи аналізу та моделювання поширення вірусних захворювань.

Постановка задачі

Щороку науковці виявляють нові види вірусів. Сьогодні описано близько 80 родин, в які входять приблизно 4000 окремих видів вірусів [3]. У таксономії живої природи віруси виділяються до окремого таксона *Vira*, створюючи в класифікації Systema Naturae 2000 разом з доменами *Bacteria*, *Archaea* і *Eukaryota* кореневий таксон *Biota*. Протягом XX століття в систематиці висувалися пропозиції про створення виділеного таксона для неклітинних форм життя (*Aphanobionta* Novak, 1930; надцарство *Acytota* Jeffrey, 1971; *Acellularia*), проте такі пропозиції не кодифіковано.

Класифікацію вірусів виконують за набором ознак:

1. Ті, що містять ДНК (вірус простого герпесу), і ті, що містять РНК (вірус імунodefіциту людини).
2. За структурою капсомерів. Ізометричні (кубічні), спіральні, змішані.
3. За наявністю або відсутністю додаткової ліпопротеїдної оболонки
4. За клітинами-хазяїнами.

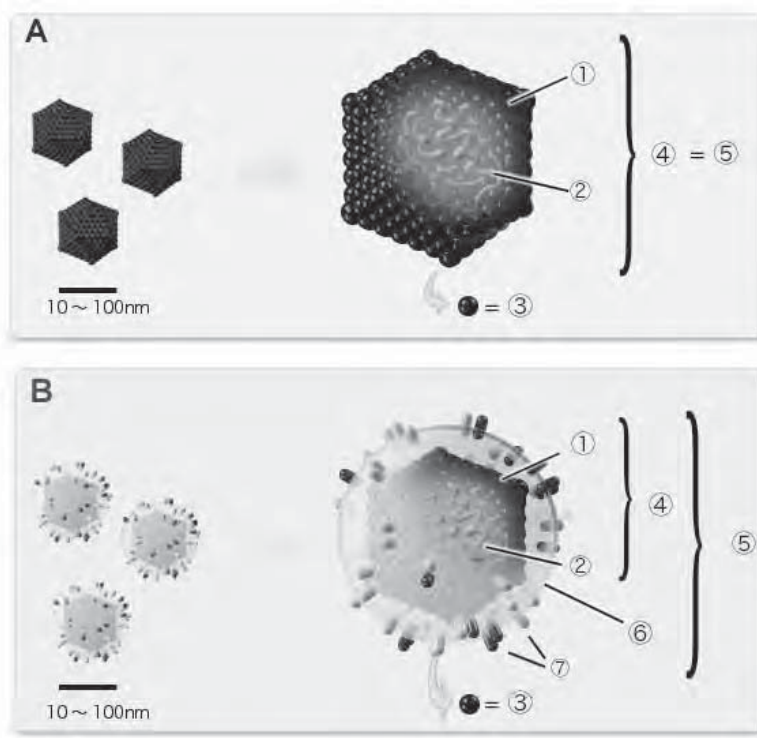


Рис. 1. Приклади структур ікосаедричних віріонів.

А. Вірус, що не має ліпідної оболонки (наприклад, пікорнавірус).

В. Оболонковий вірус (наприклад герпесвірус).

Цифрами позначені: (1) капсид, (2) геномна нуклеїнова кислота, (3) капсомер, (4) нуклеокапсид, (5) віріон, (6) ліпідна оболонка, (7) мембранні білки оболонки. [3]

У середньому віруси в 50 разів менші за бактерії. Їх неможливо побачити у оптичний мікроскоп, тому що їх розмір менший за довжину світлової хвилі. [3] Багато вірусів швидко мутують, утворюючи численні штами та підвиди. Ці фактори істотно ускладнюють роботу з їх вивчення, створення ефективних методів лікування та прогнозування поширення епідемій.

Одним з найважливіших завдань вірусології та епідеміології є прогнозування поширення, розвитку та наслідків вірусних захворювань. Більшість масштабних епідемій були спровоковані вірусами, що передаються повітряно-крапельним шляхом. На щастя, такі віруси порівняно слабкі і смертність від них не перевищує 1 %. Щоправда, в XX ст. відомі факти потужних епідемій, що забрали життя мільйонів людей. Найстрашнішою була епідемія вірусу іспанського грипу А H1N1,

який забрав життя мінімум 20 млн. людей, а за реальними оцінками – 50–100 млн. (на території Азії та Африки статистики ніхто не вів). [4]. Масштабні епідемії спричинені появою нових видів вірусів, до яких не пристосований людський імунітет. Очевидно, що визначальним фактором у поширенні епідемії є густина населення та активність його змішування. Тому осередком всіх масштабних епідемій є великі міста. Сьогодні продовжується процес урбанізації не тільки в Україні, а й у всьому світі, тому, на жаль, можна констатувати, що в майбутньому кількість та розмах епідемій не зменшуватимуться [5].

Враховуючи величезну швидкість поширення вірусу як в межах окремого міста, так і у всьому світі, на перший план виходить оперативність та адекватність реагування державних органів на епідеміологічну ситуацію. Епідемії останніх років яскраво показали, що прогнозування та оцінка епідеміологічної ситуації далекі від ідеалу. Експерти складають прогнози на основі обмежених та недостовірних наборів даних про аналогічні віруси, а також на підставі інформації про поширення вірусу в інших країнах. Часто такі прогнози не дають навіть близького до правди результату.

У світі вже давно розроблялись та успішно впроваджувались системи прогнозування та моделювання епідемій. На жаль, Україна відстає в інформатизації цієї важливої галузі науки. Комп'ютерний аналіз дає змогу обробляти в тисячі разів більші набори даних, враховувати сотні факторів впливу, зокрема і специфічних для заданого регіону. Тільки такий комплексний аналіз минулих епідемій дає можливість адекватно прогнозувати наступні. Розглянувши статистику захворюваності на найпоширеніший в Україні вірус – грип, можна зрозуміти, наскільки часто цьогорічні прогнози розходяться з дійсністю.

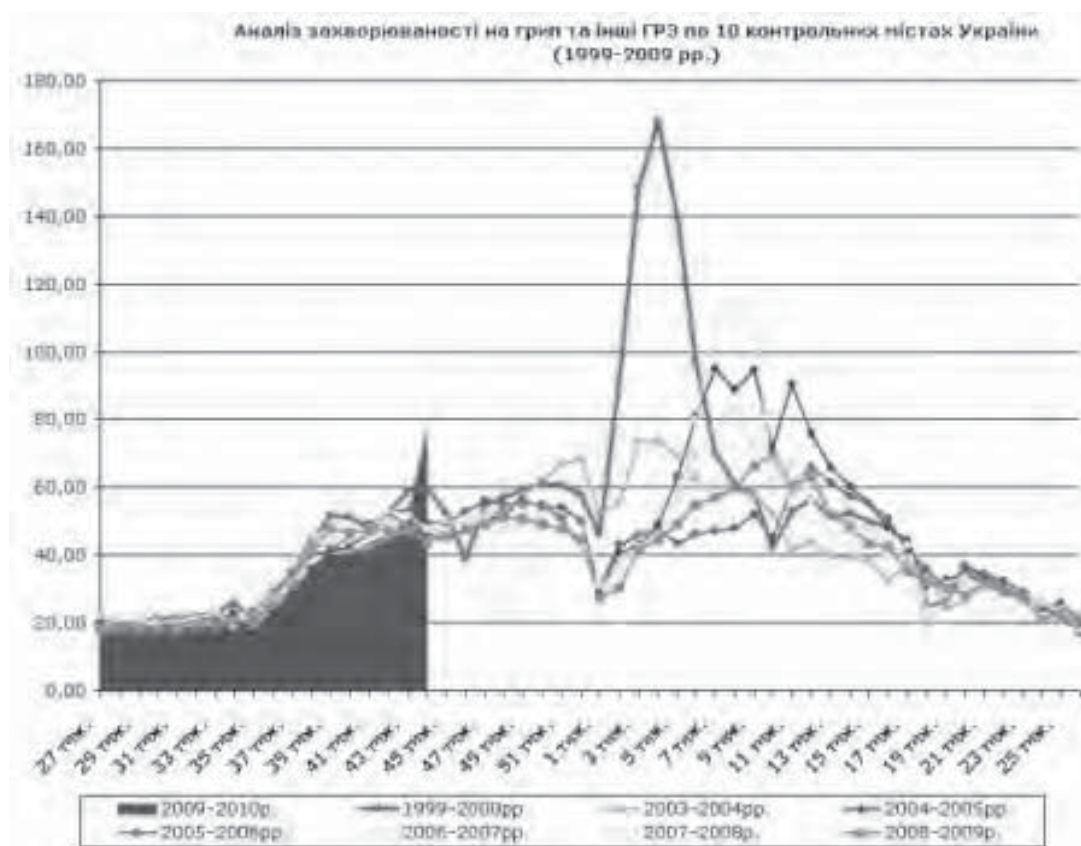


Рис. 2. Статистика захворювань на грип та ОРЗ в Україні [6]

Основним завданням прогнозування розвитку епідемії є не оцінка кількості людей, що захворюють, та ступенів складності захворювання, а розроблення ефективних методів стримування та зупинки епідемії. Швидкість поширення вірусних захворювань не дає змоги експериментувати зі засобами стримування, а вимагає швидкої ефективної стратегії боротьби з епідемією вже в перші дні поширення. Це можливо лише за наявності адекватної комп'ютерної моделі розвитку епідемії в умовах певної країни та можливості швидкого вивчення різноманітних засобів стримування та профілактики на

поширення вірусу. Цілком можливо, що в деяких випадках епідемію можна зупинити без повної ізоляції міст та дезінфікації вулиць, а просто підвищенням стійкості організму людей до вірусу в зоні навколо первинного осередку. Це зменшує коефіцієнт захворюваності і за декілька днів епідемія стихає. Щоправда, далеко не кожен вірус можна зупинити таким методом. Саме для визначення необхідних засобів боротьби і необхідні системи комп'ютерного моделювання розвитку епідемій.

Сьогодні в Україні немає достатньо потужних засобів моделювання, пристосованих до особливостей нашого клімату, тваринного та рослинного світу, ґрунтів та інших факторів, що можуть впливати на поширення епідемії, а засоби впливу міжнародних організацій на спеціалізовані програми урядів інших країн часто незастосовні або ж дають велику похибку прогнозування в умовах України. Тому розроблення української системи прогнозування розвитку вірусних епідемій є необхідним і дуже перспективним.

Аналіз публікацій та досліджень в галузі поширення вірусних захворювань

В Україні дослідження в галузі прогнозування поширення епідемій проводяться не надто активно. Передові дослідження ведуть математики зі США та Канади, які розробляють та перевіряють нові концепції поширення епідемії з використанням потужних обчислювальних центрів. Одним з останніх досліджень було прогнозування поширення епідемії, в якій носій вірусу не втрачає високої здатності зараження і не помирає від вірусу упродовж довгого часу. Результати вразили: протягом декількох днів епідемія охопить всі великі міста, а через декілька тижнів – практично все людство. Дослідження виконувались статистичним моделюванням на комп'ютері, а також перевірялись в аналогічній реальній соціальній системі – поширення важливої новини чи ідеї між людьми без участі ЗМІ.

Методи статистичного аналізу розглядає Б.В. Кузьменко у статті "Стохастичне моделювання епідемій". Стаття доволі повно описує математичні основи статистичного моделювання, дає змогу оцінити можливість їх застосування у програмній системі аналізу та прогнозування поширення вірусних епідемій.

Макал Норс у статті "Моделювання на базі агентів" описує систему імітаційного моделювання на базі мультиагентних систем. Такі системи потребують дуже великих обчислювальних ресурсів і донедавна були практично незастосовні в реальних задачах. Проте сьогодні не можна відкидати цей напрям досліджень, оскільки деякі задачі моделювання поширення епідемій вже успішно розв'язують з його допомогою.

Дисертаційна робота Ф.П. Дем'яненка стосується прогнозування циркуляції та розвитку фітотвірусних інфекцій з урахуванням біологічних властивостей патогенів та використанням комп'ютерних баз даних. Дослідження стосується рослинних захворювань, проте їх поширення багато в чому аналогічне епідеміям вірусів, небезпечних для людей.

Аналіз методичних та програмних засобів моделювання поширення вірусів

EpiGrass [7] [8] – це програмний засіб для мереж епідеміологічного моделювання та аналізу. Це не ГІС система, це лиш "двигун" для моделювання. Вона дає змогу дослідникам здійснювати всеосяжні просторово-часові моделювання. Охоплює епідеміологічні дані та моделі передавання хвороб і контролю. EpiGrass розрахований на побудову та моделювання великомасштабних популяційних моделей. Передбачається, що компонент такої популяційної моделі з'єднаний через контактну мережу, що визначає міграційні потоки між популяціями. Ця зв'язана модель може бути легко адаптована, щоб представляти будь-який тип суміжності структури.

EpiGrass написана мовою програмування Python, яка значною мірою сприяє гнучкості всієї системи в зв'язку з динамічним характером мови програмування. Епідеміологічні процеси, що мають географічну прив'язку мережі, можуть бути подані в об'єктно-орієнтованому вигляді.

Для побудови епідемічної моделі в EpiGrass потрібно визначити вузли, ребра та мережі. Вузли – це об'єкт, що представляє, наприклад, людей чи міста, а ребра представляють, наприклад, контактні маршрути між містами. Кожен вузол та ребро має певні атрибути, що визначають їх поведінку. Вузли та ребра моделі об'єднуються у мережу. Отже, в кінцевому підсумку модель складається з мереж, що містять змінну кількість вузлів і ребер. EpiGrass також дає змогу інкапсуляції – дозволяє

мережі у межах мережі. Таке представлення мережі дає змогу розподілити обчислення по обчислювальних мережах або кластерах.

Вузли і ребра є динамічними об'єктами, оскільки вони можуть бути змінені під час виконання, змінюючи свою поведінку у відповідь на події користувача. Всі симуляції в EpiGrass проходять в неперервному часі. Однак звичайні моделі можуть бути реалізовані краще динамічно з кожним кроком, наприклад, реалізуючи ODE моделі як вузол.

Система EpiGrass має графічний користувацький інтерфейс (GUI), який обробляє декілька вхідних файлів, які потрібні для визначення моделей, виконує симуляцію та генерує результуючу інформацію.

В основі системи лежить симулятор. Він аналізує специфічні файли моделі, що містяться в текстовому файлі (.erg файл), і будує мережу з файлів опису країв (текстові файли з даними, розділені комою, CVS). Симулятор тоді будує код представлення всієї моделі, що імітує його, і зберігає результати в базі даних або в парах CSV файлах. Ці вихідні дані міститимуть в собі всі часові зміни змінних у моделі. Крім того, шар карти (в shapfile та форматі KML) також генерується для цієї моделі.

Результат EpiGrass подає різними способами. 3D карта з анімацією доступна прямо в GUI. Інші вихідні дані можуть бути подані через ГІС програми зі згенерованого файла формату shapefile. KML файл також може бути переглянутий в Google Earth.

HealthMapper [9] – це розробка Всесвітньої організації здоров'я для спостереження та роботи з картографічною інформацією, метою якою є надання критичної інформації моніторингу, яка потрібна для програм, що призначені для вирішення проблем інформаційних захворювань на національному та глобальному рівнях.

HealthMapper є зручною для керування даними та картографічними системами, призначена спеціально для користувачів системи охорони здоров'я. Система сприяє стандартизації, збирання та оновленню даних з епідеміології та дозволяє зображення даних у вигляді карт, таблиць і графіків.

HealthMapper також містить бази даних основних базових географічних, демографічну та медико-санітарну інформацію, зокрема розташування громади, охорони здоров'я та освіти, доступності дороги, доступ до безпечної води і демографії. У наш час система розрахована на підтримку цілої низки інфекційних захворювань в більш ніж 60 країнах в усіх регіонах ВОЗ. Основні програми інфекційних захворювань нині використовують цю систему для боротьби з малярією, ліквідації лімфатичного філяріатоза, викорінювання гвінейського черв'яка, боротьби з онхоцеркозом і поліомієлітом. З 2003 року система підтримує моніторинг за ВІЛ / СНІД / ПСШ (інфекцій, що передаються статевим шляхом), туберкульозом, контролю за інфекційними хворобами в контексті складних надзвичайних ситуацій, оповіщення про спалахи хвороб та відповідних дій та комплексного лікування дитячих хвороб.

Model-Builder [10] – це графічна утиліта для дизайну, симуляції та аналізу математичних моделей на основі диференціальних рівнянь. Як і EpiGrass, Model-Builder не є ГІС.

Особливості:

- Model-Builder дає змогу зберігати результати у найпоширеніших графічних форматах: PNG, SVG, PDF тощо.
- Електронні таблиці результатів. З таблиці можна зробити індивідуальні ділянки зі змінним. Підтримується експортування даних у текстовий файл формату *.csv.
- Латекс-обробка системи рівнянь.
- Інтуїтивний графічний інтерфейс.
- Безкоштовне програмне забезпечення. Ліцензія GPL
- Багатолатформенне. Запускається там, де працює Python.

AnyLogic [11] [14] – це інструмент імітаційного моделювання, що об'єднав методи системної динаміки, "процесного" дискретно-дійового й агентного моделювання в одній мові і одній середовищі розробки моделей. Гнучкість AnyLogic дає змогу відображати динаміку складних і різномірних економічних і соціальних систем на будь-якому бажаному рівні абстракції. AnyLogic містить набір примітивів і бібліотечних об'єктів для ефективного моделювання виробництва і логістики, бізнес-процесів і персоналу, охорони здоров'я, фінансів, споживчого ринку, а також

навколишньої інфраструктури в їх природній взаємодії. Об'єктно-орієнтований підхід, запропонований AnyLogic, полегшує ітеративну та поетапну побудову великих моделей.

За допомогою AnyLogic стало можливим розробляти моделі в таких областях:

- виробництво;
- логістика та ланцюжки поставок;
- ринок і конкуренція;
- бізнес-процеси та сфера обслуговування;
- охорона здоров'я і фармацевтика;
- управління активами та проектами;
- телекомунікації та інформаційні системи;
- соціальні та екологічні системи;
- пішохідна динаміка;
- оборона.

AnyLogic 6 заснований на Java і оснований на платформі Eclipse – сучасному стандарті для бізнес-додатків. Завдяки Eclipse AnyLogic працює на всіх поширених операційних системах (Windows, Mac, Linux тощо). AnyLogic 6 підтримує спільне розроблення моделей колективами фахівців: великий проект може бути розділений на взаємозалежні компоненти, які можна забирати і класти в систему контролю версій безпосередньо із середовища AnyLogic.

У редакторі AnyLogic можна розробити анімацію та інтерактивний графічний інтерфейс моделі. Редактор підтримує великий набір фігур, елементів управління (кнопок, повзунків, полів вводу тощо), імпорт растрової графіки та векторної графіки в форматі DXF. Анімація може бути ієрархічною і підтримувати декілька перспектив. Наприклад, можна визначити глобальний погляд на процес виробництва з кількома агрегованими індикаторами, а також детальні анімації конкретних операцій – і перемикатися між ними.

У AnyLogic входять засоби аналізу даних і великий набір елементів бізнес-графіки, спроектованих для ефективної обробки та презентації результатів моделювання: статистики, набори даних, графіки, діаграми, гістограми.

AnyLogic підтримує різноманітні типи експериментів з моделями: простий прогон, порівняння прогонів, варіювання параметрів, Монте-Карло, аналіз чутливості, оптимізація, калібрування, а також довільний експеримент за визначенням для користувача сценарієм. Нова Java-версія потужного оптимізатора OptQuest™ від компанії OptTek, Inc вбудована в AnyLogic.

Мовою для опису структур даних, дій, правил і алгоритмів в AnyLogic є Java. У разі необхідності можна розширити функціональність будь-яких примітивів AnyLogic, додавши в них фрагменти Java-коду. Для зручності користувача AnyLogic підтримує "Code Completion" (автодоповнення) і "рефакторінг" (автозаміна): при написанні коду AnyLogic пропонує список змінних, методів тощо, які можна використовувати у цьому контексті, а також автоматично перейменовує всі посилання на об'єкт при перейменуванні самого об'єкта.

Java робить моделі, розроблені на AnyLogic, крос-платформенними, а також дає змогу публікувати їх на сайтах у вигляді аплетів. Під час перегляду такого аплету віддаленим користувачем модель сама завантажиться до нього на комп'ютер і виконуватиметься там всередині браузера – без необхідності інсталювати там будь-яке ПЗ.

Відкритість моделей на рівні Java дає змогу легко інтегрувати їх із зовнішніми Java інтерактивними додатками, зокрема ERP, CRM та іншими елементами корпоративної IT-інфраструктури. Моделі AnyLogic працюють у складі комплексних систем підтримки прийняття рішень (СППР) на багатьох підприємствах.

AnyLogic, на відмінну від EpiGrass, дає змогу моделювати будь-які процеси, не тільки будувати моделі епідемій. Але EpiGrass розроблений спеціально для епідеміології. Тому в ньому побудова екологічних моделей є простішою та зручнішою. EpiGrass вже містить готові моделі епідемій та "двигуни" для моделювання.

GPSS [12, 13, 14] – система імітаційного моделювання. У грудні 2001 GPSS виповнилося 40 років. GPSS – це одна з найстаріших мов імітаційного моделювання. Найстарішою у цій системі є

GPS – загальна імітаційна програма, розроблена Тоучером приблизно в 1958 році, проте вона не має таких досягнень, як GPSS.

Проблемною областю GPSS є системи масового обслуговування (системи з чергами). Основою імітаційних алгоритмів в GPSS є дискретно-подієвий підхід, розроблений Гордоном. У GPSS розробникам вдалося пройти за межі як відповідності проблемної області (за термінологією, функціями, методикою досліджень тощо), так і ефективності програмування (зручності розроблення моделей, швидкодії, використання ресурсів ЕОМ тощо).

GPSS відрізняється більш орієнтованою на імітаційне моделювання мовою, типу Simula, проблемно-орієнтованішою. Уможливорює автоматичний збір статистики. Для багатьох реальних систем процес моделювання на GPSS є легшим, ніж в анімаційно-орієнтованих системах (АОС). У АОС кожен обслуговуючий апарат подібний машині, поданої лише один раз, потім він вимагає анімаційного робочого простору та зображень. У GPSS сутність машина може бути подана в багатьох різних місцях програми. Компактні програми і можливість використання графічного інтерфейсу дають змогу прискорити створення прототипів моделей, на кожен з яких можна отримати швидкий відгук після поліпшень, здійснених користувачем. Цей останній фактор став причиною легкого використання імітаційного моделювання на практиці. Компактні програми разом з блок-діаграмами забезпечують краще документування, ніж можливо у більшості інших систем, зокрема в АОС. Ефективність виконання моделей у GPSS загалом може бути вищою, і багато систем мають можливість автоматичної трансляції в GPSS-коди.

NetLogo [15] є продовженням мови програмування Logo – першої мови програмування, створеної ще в 1968 році об'єднаними зусиллями Массачусетського технологічного інституту та корпорації BBN (Bolt Beranek & Newman) з метою навчати дітей за допомогою комп'ютера. Створена Урі Віленським у 1999 році і розвивається в Центрі навчання та підключення комп'ютерного моделювання.

Середовище програмування NetLogo призначене для моделювання ситуацій і феноменів, що відбуваються в природі і суспільстві. NetLogo зручно використовувати для моделювання складних систем, що розвиваються в часі. Розробник моделі дає вказівки незалежним "агентам", що діють паралельно. Це відкриває можливість для пояснення та розуміння зв'язків між поведінкою окремих індивідуумів і явищами, які відбуваються на макрорівні в результаті незалежних дій множини індивідуумів.

Це доволі потужна мова і середовище для виконання дослідницьких робіт. NetLogo бібліотека містить безліч готових моделей з біології, математики, хімії, соціології. Мова поширюється разом з великою бібліотекою моделей, які можна використовувати і модифікувати. Для NetLogo повторне застосування і подальший розвиток моделей є природним, оскільки всі моделі зберігаються в текстових файлах. Моделі NetLogo: природничі та суспільні науки, фізика, хімія, математика, інформатика, економіка, соціальна психологія. Проте це система, призначена для широкого класу задач, і тому не може враховувати усіх особливостей області епідеміології.

Spatiotemporal Epidemiological Modeler (STEM) [16, 17] (переклад. "просторово-часовий епідеміологічний симулятор") є вільним програмним забезпеченням Eclipse Foundation, фреймворком та розробницьким інструментом, покликаним допомогти вченим у створенні та використанні просторових і часових моделей інфекційних хвороб. Спочатку цей продукт був розроблений IBM Research, STEM STEM використовує архітектуру програмних компонентів на основі стандартних OSGi. Платформа Eclipse Equinox є еталонною реалізацією цього стандарту. Використовуючи архітектуру програмних компонентів, всі компоненти або елементи, необхідні для хвороб моделі, включаючи код і дані, доступні як програмні блоки, які можуть самостійно обмінюватися, розширюватися, повторно застосовуватись або бути заміненіми. STEM додатки містять дані для адміністративних регіонів, що становлять інтерес. Регіони індексуються стандартними (ISO3166) кодами.

STEM нині містить велику кількість плагінів для 244 країн і залежних областей, визначених у географічному стандарті кодування, який підтримує Міжнародна організація зі стандартизації. Ці плагіни містять глобальні дані, зокрема географічні дані, дані про чисельність населення, демографію, а також основні моделі захворювання. Моделі хвороб, що поширюються з STEM, містять і просторові моделі. Інші додатки описують взаємозв'язки між регіонами, зокрема найближ-

чих сусідів або суміжності відносин, а також інформацію про транспорт – зв'язок по автомобільних дорогах і моделі повітряного транспорту.

Відносини між регіонами вводять у моделі для визначення того, як хвороба поширюється від місця до місця. Для цього STEM використовує граф. Вузлам графа відповідають місця або регіони, ребра описують зв'язки між регіонами. Вузли і ребра можуть бути помічені спільними даними і моделями. Це графічне представлення реалізоване за допомогою Eclipse Modeling Framework (EMF). Оскільки модель може бути побудована із застосуванням окремих підграфів, STEM дозволяє композицію моделей. Попереднє визначення підграфів визначення різних країн можна зібрати, використовуючи інтерфейс перетягування (drag and drop interface). Вектори нової хвороби можна додати до наявних моделей розширенням моделі з новим набором країв. Архітектура також підтримує те, що користувачі можуть не тільки створювати нові моделі і скласти новий сценарій, але і обмінюватися цими моделями і сценаріями як компонентами, що багато разів використовуються, і тим самим впливати на роботу один одного. Це проект з відкритим кодом.

Echo [18] є моделювальним інструментом з відкритим вихідним кодом, який розроблений для вивчення механізмів, які регулюють опрацювання інформації в системах, у які входить багато взаємодіючих адаптивних агентів. З Echo можна моделювати моделі екосистем, в якій розвивається агенти, що перебувають в умовах обмежених ресурсів навколишнього середовища. Він також дозволяє індивідуальні генотипні правила кодування для взаємодії. У типових моделюваннях популяції цих геномів еволюціонує взаємодія мереж, які регулюють потік ресурсів. Результат мережі схожий на види громад в екологічних системах. Гнучко визначені параметри і початкові умови дають змогу ученим виконати ряд "що-якщо" експериментів. Echo працює на всіх UNIX та LINUX системах.

Висновки

Розростання міст та швидка урбанізація населення створюють сприятливі умови для появи та швидкого поширення різноманітних епідемій, зокрема вірусних. У світі давно розробляються та впроваджуються системи моделювання та прогнозування розвитку епідемій залежно від набору початкових умов та засобів стримування. Ці засоби використовують для розроблення ефективних методів стримування поширення вірусного захворювання та зупинки епідемій. В Україні немає достатньо потужних систем, адаптованих до специфічних умов нашої країни та факторів, що впливають на поширення захворювання. Це призводить до значних труднощів у боротьбі з епідеміями, затрати величезних ресурсів на засоби, що є неефективними. В результаті практично кожна епідемія в Україні набуває значних масштабів. Створення системи прогнозування розвитку епідемій, адаптованої до умов України, значно спрощує вибір засобів боротьби з захворюванням та дає змогу уникнути значного поширення епідемії у разі своєчасного виявлення захворювання та оперативного введення необхідних запобіжних заходів. Тому розроблення такої системи є дуже важливим для української системи охорони здоров'я.

У цій статті здійснено огляд предметної області епідеміології та вірусології, актуальних завдань цих дисциплін та наявних засобів моделювання розвитку вірусних епідемій. В майбутньому планується створити математичну модель розвитку вірусних епідемій та реалізувати її програмно для можливості практичного застосування на великих обсягах даних.

1. Матеріали Вікіпедії «Епідеміологія» [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BF%D1%96%D0%B4%D0%B5%D0%BC%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F>. 2. «Вірусологія» [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%96%D1%80%D1%83%D1%81%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F>. 3. «Вірус» [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%96%D1%80%D1%83%D1%81%D0%B8>, 4. «Іспанський грип» [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D1%81%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%D0%B3%D1%8F>.

80%D0%B8%D0%BF. 5. Статистика населення України [Електронний ресурс] – режим доступу: http://ukrmap.org.ua/Statistika_nasel_ukr.htm. 6. Статистика захворювання на грип у порівнянні з епідемією «Свинячого грипу» [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://brusentsov.com/2009/11/06/3078>. 7. Офіційний сайт Epigrass [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://www.metamodellers.com/software/epigrass/>. 8. Посібник Flávio Codeço Coelho – Epigrass: a tool to study disease spread in complex networks. Programa de Computação Científica – Fundação Oswaldo Cruz / Flávio Codeço Coelho, Oswaldo Gonçalves Cruz, Cláudia Torres Codeço, Av. Brasil, 4365 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil – 21045-900. 9. Розробка Всесвітньої Організації Здоров'я – HealthMapper [Електронний ресурс] – режим доступу: http://www.who.int/health_mapping/tools/healthmapper/en/index.html. 10. Офіційний сайт Model-Builder [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://model-builder.sourceforge.net/>. 11. Офіційний сайт AnyLogic [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://www.xjtek.ru/>. 12. Офіційний сайт GPSS [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://www.gpss.ru/>. 13. Стаття Ингольф Сталл – GPSS – 40 ЛЕТ РАЗВИТИЯ. Департамент управления высшего уровня экономики Стокгольмской школы экономики Вох 6501 SE 11383, Стокгольм, Швеция. [Електронний ресурс]. Пер. с англ.. В.В. Девятков (Элина-Компьютер, г. Казань) – режим доступу: <http://www.gpss.ru/paper/stahl/>. 14. «Сборник докладов студенческой научно-практической конференции кафедры АСОИУ 2006 г. Сравнение возможностей моделирования на GPSS и AnyLogic» — [Електронний ресурс] / Г.Р. Гафаров, Е.С. Ильвес, А.Ю. Киприянов, Д.Н. Матвиенко, Н.М. Смерницкий. – режим доступу: http://conf.asoiu.com/2006/sravneniai_yosmo.html. 15. Офіційний сайт NetLogo [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. 16. Матеріали Вікіпедії «STEM» [Електронний ресурс] – режим доступу http://en.wikipedia.org/wiki/Spatiotemporal_Epidemiological_Modeler. 17. Офіційний сайт STEM [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://www.eclipse.org/stem/>. 18. Стаття «The ecology of Echo». [Електронний ресурс] / P.T. Hraber, T. Jones, S. Forrest. Artificial Life 3(3): 165–190. 1997. – режим доступу: <http://mitpress.mit.edu/journals/ARTL/Hraber.pdf>.