

## ОСОБЛИВОСТІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕПІДЕМІОЛОГІЇ ВІЛ/СНІД ДЛЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Сімперович С.В., Кащенко Р.А., Борисова С.Л.

Науково-дослідний інститут проблем військової медицини ЗС України

**Резюме.** Розглянуті напрямки удосконалення моніторингового контролю за ходом розвитку епідемічного процесу ВІЛ-інфекції у Збройних Силах України шляхом використання методу імітаційного моделювання.

**Ключові слова:** епідемічний процес ВІЛ-інфекції (СНІД), Збройні Сили України, імітаційне моделювання.

**Вступ.** Поширення вірусу імунодефіциту людини (далі – ВІЛ) є однією з актуальних проблем сучасної охорони здоров'я та, зокрема, військової медицини. Це пов'язано з такими особливостями інфекції, як неможливість елімінувати вірус з інфікованого організму, запобігти розвитку синдрому набутого імунодефіциту (далі – СНІД), висока вартість підтримуючої терапії тощо [1, 2]. Поширення ВІЛ в Україні носить епідемічний характер, що не може не викликати стурбованості з боку фахівців військово-медичної служби України. З метою отримання функції моніторингового контролю за ходом розвитку епідемічного процесу ВІЛ-інфекції у Збройних Силах України (далі – ЗС України) необхідно провести пошук спеціальних методів оцінювання та прогнозування пошуку управляючих впливів. Зазначені оцінки можуть бути виконані з використанням спеціальних математичних моделей, що враховують механізми розвитку інфекції, правила взаємодії об'єктів, зовнішні умови та ін. [3].

**Об'єкт дослідження** – епідемічний процес ВІЛ-інфекції (СНІД).

**Предмет дослідження** – контроль за ходом розвитку епідемічного процесу ВІЛ-інфекції у Збройних Силах України.

**Методи дослідження** – історичний, системного підходу та системного аналізу.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Моделі розповсюдження інфекцій, що базуються на використанні апаратів звичайних диференціальних рівнянь, мало придатні для практичних цілей з причини того, що не враховують стохастичний характер явища, багато реальних властивостей об'єктів, що утворюють систему; не дозволяють виявити фактори, що впливають на швидкість розповсюдження, а, отже, і розробити методи, що перешкоджають подальшому поширенню інфекції. Успішним методом моделювання різних соціальних об'єктів, до числа яких може бути віднесено й розвиток інфекцій, є імітаційне моделювання [4].

Першими у вітчизняній військово-медичній науці в області соціальної медицини метод імітаційного моделювання застосували О. Г. Шекера (1996), Ф. М. Левченко (1998), О. В. Рудинський (2006). Ці автори обґрунтували теоретичні засади використання вищевказаного методу при дослідженнях в

галузі воєнної медицини і визначили шляхи науково-практичного вирішення конкретних проблем в сфері медичного забезпечення ЗС [5, 6]. В подальшому метод імітаційного моделювання успішно був застосований О. В. Охоньком (2003) та В. П. Тибінем (2011) при дослідженні організації лікувально-евакуаційного забезпечення Військово-Морських Сил ЗС України [7].

За імітаційну модель системи виступає її програмна реалізація на ПЕОМ. Імітаційна модель працює так само, як і система. Наприклад, для системи лікувально-евакуаційного забезпечення ЗС України імітаційне моделювання розв'язує завдання – визначення такої структури та параметрів системи, за яких забезпечується найкращі показники якості функціонування системи з урахуванням накладених обмежень. Оскільки вказана модель імітує ймовірнісну систему і процеси, то вона стохастична і повинна розігрувати випадкові фактори і статистичне оцінювати результати [4, 8].

Для побудови подібних дискретних імітаційних моделей та проведення експериментів на ПЕОМ і, зокрема, при дослідженнях у медичній галузі широко застосовується мова моделювання *GPSS* (*General Purpose Simulating System* – загально цільова система моделювання) [7]. Мова не має алгоритмічної основи і реалізовується засобами макроасемблера практично на всіх типах ПЕОМ, що важливо для використання у ЗС України. Моделі систем на *GPSS* записуються у вигляді блок-схем або подаються у вигляді послідовності рядків програми, еквівалентних блок-схемі.

Перші спроби імітаційного моделювання поширення ВІЛ-інфекції (СНІД) з'явилися у 2000 р.

Розробці єдиної імітаційної системи перешкоджає нерівномірність розповсюдження ВІЛ-інфекції як по території Землі в цілому, так і всередині окремих держав. Причини цього явища можуть бути різними. Так, наприклад, в США захворюваність на СНІД по штатах достовірно корелює з расовим складом населення [2]. В Україні поки не вдається встановити фактори неоднорідності аналогічним методом.

Досвід провідних міжнародних організацій (ВООЗ, ООН) в прогнозуванні поширення епідемії за допомогою математичного моделювання для країн СНД не є зовсім ефективним, тому що згадані моделі були ідентифіковані на даних країн Африки.

Механізми формування груп підвищеного ризику на території України суттєво відрізняються – у нашій країні провідну роль у поширенні ВІЛ-інфекції відіграє соціальна дезадаптація (девіантна поведінка, порушення соціальних і моральних норм та ін.). Особливості передачі ВІЛ-інфекції обумовлюють значну мінливість ймовірності інфікування за рахунок зміни поведінки. Для інфекцій, що мають таку властивість, характерно об'єднання індивідів у групи, замкнуті щодо решти популяції внаслідок поведінкових особливостей. Особовий склад Збройних Сил України, як 28 регіон України, представляє собою окремих вид замкнутої групи з характерними лише для неї особливостях поведінки та з мінімальною кількістю соціально дезадаптованих індивідів [9].

Тому, при виконанні певних протиепідемічних заходів інфекція може бути локалізована всередині таких груп.

Важливо відзначити, що швидкість розповсюдження вірусу всередині груп набагато вище, ніж між групами, що може призводити до стрибкоподібним змінам швидкості поширення інфекції, що чергується із періодами з постійними рівнями інфікування.

Індивідуальний рівень соціальної дезадаптації може значно варіювати і змінюватися з часом і повинен впливати на епідеміологічні характеристики індивіда: швидкість зараження та діагностики захворювання, якість лікування та ін. Виміряти його можна, наприклад, оцінивши кількість ресурсів, необхідних на мінімізацію асоціальної поведінки індивіда. У цьому сенсі проявом максимальної дезадаптації є розвиток наркологічної патології – захворювання, викликаного зловживаннями психоактивних речовин: алкоголю, різних видів наркотичних і ненаркотичних речовин, які при введенні в організм людини змінюють його поведінку. У такому стані збільшується ризик інфікування ВІЛ.

Серед ВІЛ-інфікованих у нашій країні зросла частка юнаків призовного віку, яких можна віднести до найбільш уразливих груп населення (практика дошлюбних зв'язків серед даного контингенту, а також внутрішньовенне вживання наркотиків є провідним варіантом парентерального шляху поширення ВІЛ. Близько 80% ВІЛ-інфікованих – це особи, які вживають ін'єкційні наркотики та їх статеві партнери (найбільш уражена категорія особового складу ЗС України – військовослужбовці строкової служби, тобто молоді люди у віці 18–25 років).

Соціально дезадаптовані індивіди складають основну частину резервуару ВІЛ-інфекції та ряду інших соціально небезпечних захворювань на початкових етапах їх розповсюдження. У зв'язку з цим гостро стає питання про оцінку ризику інфікування соціально адаптованого населення. В тому числі й особового складу ЗС України.

Імітаційні моделі призначені для вивчення інтегральних характеристик популяції як результату безлічі локальних взаємодій її окремих членів – агентів. Серед безлічі імітаційних моделей за способом управління параметрами слід виділити три основні класи.

У *мультиагентних* моделях центральним об'єктом є діюча одиниця популяції – агент, властивості якої стають провідними в динаміці системи. Агентом може бути як окремих індивід, так і група індивідів, об'єднаних за певною ознакою. Загальні припущення, що використовуються при моделюванні, – модель розвитку інфекції представляє складну систему, що складається з безлічі взаємодіючих елементів (агентів), кожен агент має властивості, що формуються при його появі (стать, вік, максимальна тривалість життя, зараженість тощо). Максимальна тривалість життя агента задається нормальним розподілом ймовірності при створенні агента; агент може загинути раніше у разі ураження інфекцією; максимальна тривалість життя зараженого

агенту визначається в момент зараження; агенти формуються у системі в початковий момент часу, їх параметри задаються розподілами ймовірності [4].

При реалізації мультиагентних моделей встановлюється безліч агентів, їх основні характеристики та способи їх вимірювання з деяким заданим початковим розподілом, а також правила взаємодії, в результаті яких здійснюється ефективний контакт. При дослідженні мультиагентних моделей вдаються до використання апарату стохастичних процесів та теорії ймовірностей. Дослідження даного виду моделей епідемічної динаміки ВІЛ-інфекції тісно пов'язане з ім'ям Бертрана Увера [1].

При *мережному* моделюванні агенти як такі відсутні, на перший план виходять характеристики зв'язків між окремими частинами системи, за якими здійснюється взаємодія. У зв'язку з даним напрямком широке поширення отримали комплексні мережі – моделі мереж зі складною топологією. У даному напрямку основним математичним апаратом є теорія графів і інші розділи дискретної математики. Дослідження розповсюдження ВІЛ-інфекції в комплексних мережах, а також розробка спеціалізованого програмного забезпечення для реалізації даного виду моделей проводиться Слот і Бухановським [9].

Моделювання *мережі агентів* є спробою об'єднання двох перших технологій. Це наймолодший напрямок в імітаційному моделюванні задач епідемічної динаміки ВІЛ-інфекції в популяції носіїв; він також бере початок у роботах Слот і Бухановського [9].

Імітаційна модель розвитку епідемії ВІЛ-інфекції є по суті програмою для комп'ютера, а експеримент над нею полягає у спостереженні за результатами розрахунків за цією програмою при різних значеннях екзогенних змінних, що задаються (стать, вік, особливості поведінки, рівень освіти та ін.). Набір екзогенних змінних для України в цілому, так і для її ЗС, зокрема, ще потребує детальної розробки та наукового обґрунтування. Імітаційна модель розвитку епідемії ВІЛ-інфекції у ЗС України може мати свої, притаманні лише їй особливості, а так само містити блоки, де рішення приймається людиною.

#### **Висновки:**

Таким чином, використання методу імітаційного моделювання розвитку епідемії ВІЛ-інфекції у ЗС України дозволить не тільки прогнозувати ситуацію з ВІЛ-інфекцією (СНІДом), але й допоможе в удосконаленні концепції боротьби з епідемією.

#### **Література:**

1. Bacaer N. An age-structured model for the potential impact of generalized access to antiretroviral on the South African HIV epidemic/ N. Bacaer, C. Pretorius, B. Auvert // *Bulletin of Mathematical Biology* – 2010. – 72(8). – 2180–2198 p.
2. Кожокин Е.М. ВИЧ/СПИД в США: Нерешенные вопросы противодействия эпидемии: аналитический материал / Е.М. Кожокин, А.И. Мазус, Ю.Н. Глущенко, А.Я. Ольшанский. – М., 2006. – 42 с.
3. СПИД и военнослужащие ЮНЭЙДС. Точка зрения. Серия ЮНЭЙДС «Примеры передового опыта».

4. Улыбин А.В. Имитационное моделирование развития инфекции с использованием агентного подхода [Электронный ресурс] / А.В. Улыбин, А.А. Арзамасцев. – Режим доступа:

<http://simulation.kiev.ua/doc%5Cconference%5Cimmod%5C2009%5C119.pdf>.

5. Левченко Ф.М. Імітаційні моделі лікувально-евакуаційного забезпечення військ (сил): нові технології планування та управління / Ф.М. Левченко, В.М. Томашевський // Військова медицина України. – 2003. – № 1–2. – С. 16–23.

6. Бадюк М.І. Імітаційне моделювання лікувально-евакуаційного забезпечення Об'єднаних сил швидкого реагування Збройних Сил України / М.І. Бадюк, О.В. Охонько, О.В. Рудинський // Військова медицина України. – 2004. – № 4. – С. 16–23.

7. Охонько О.В. Імітаційне моделювання як метод дослідження лікувально-евакуаційного забезпечення Військово-Морських Сил / О.В. Охонько, Ф.М. Левченко // Проблеми військової охорони здоров'я. – Київ, 2002. – Вип. 9. – С. 22–27.

8. Шуенкин В.А. Прикладные модели теории массового обслуживания: учебное пособие / В.А. Шуенкин, В.С. Донченко. – К.: НМК ВО, 1992. – 398 с.

9. Романюха А.А. Модель распространения ВИЧ-инфекции в результате социальной дезадаптации. Управление в медико-биологических и экологических системах / А.А. Романюха, Е.А. Носова // Управление большими системами. – 2011. – Вып. 34. – С. 227–253.

#### **ОСОБЕННОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭПИДЕМИОЛОГИИ ВИЧ / СПИД ДЛЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ**

**Симперович С.В., Кашченко Р.А., Борисова С.Л.**

**Резюме.** *Рассмотрены направления совершенствования мониторингового контроля над ходом развития эпидемического процесса ВИЧ-инфекции в Вооруженных Силах Украины путем использования метода имитационного моделирования.*

**Ключевые слова:** *эпидемический процесс ВИЧ-инфекции (СПИД), Вооруженные Силы Украины, имитационное моделирование.*

#### **IMITATIONAL MODELING OF EPIDEMIC PROCESS OF HIV – INFECTION / AIDS IN UKRAINE ARMED FORCES**

**S.Simperovych, R.Kashchenko, S.Borisova**

**Summary.** *Methods of imitational modeling to improve monitoring of HIV-infection / AIDS spread in Ukraine Armed Forces have been proposed.*

**Keywords:** *Ukraine Armed Forces, epidemic process of HIV-infection / AIDS, methods of imitational modeling.*