

ВИКОРИСТАННЯ ЗАГАЛЬНОДОСТУПНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У МОДЕЛЮВАННІ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНИХ ТРЕНДІВ

Вступ. Спалахи інфекційних хвороб та пандемія COVID-19, зокрема, – серйозний виклик у сфері охорони громадського здоров'я [1 – 3]. Станом на 8 вересня 2020 року за даними Університету Джона Хопкінса в світі інфіковано коронавірусною хворобою понад 27 млн. осіб, та зафіксовано понад 890 тис. смертей [4]. За даними Національної служби охорони здоров'я в Україні інфіковано понад 140 тис. осіб, понад 3 тис. смертей [5].

Зворотною стороною викликів завжди є можливості, і, на сьогодні такими можливостями є інформаційні технології, системи прийняття рішень, найкращі практики проактивного управління і контролю на основі сучасних методик аналізу даних (data driven decision making) та моделювання [6 – 9].

При цьому, системний підхід має передбачати взаємовплив рішень у сфері охорони здоров'я та рішень щодо стратегічного економічного розвитку, адже, наприклад, подолання сьогоднішніх наслідків COVID-19 суттєвим пом'якшення монетарної політики може обернутися зростанням боргового навантаження на майбутні покоління [10].

Зауважимо, що для початкового аналізу епідеміологічної ситуації можливо скористатися загальнодоступним програмним забезпеченням, що однак має досить потужний функціонал [11].

Еволюційний розвиток розробки програмного забезпечення (ПЗ) спільнотами ентузіастів соціально-відповідальних інституцій з усього світу на сьогодні має за результат доступність поряд з комерційними продуктами також розробок з відкритим доступом та можливістю практично для кожного охочого спробувати ту чи іншу технологію. Не є винятком і розробки в галузі охорони здоров'я.

Такі програмні продукти використовуються для моніторингу й прогнозування динаміки розвитку епідеміологічних спалахів, оцінки можливих контр заходів, необхідного рівня їх інтенсивності та відповідних управлінських рішень (табл. 1, [11]).

В статті здійснено огляд перспектив використання загальнодоступного програмного забезпечення у моделюванні епідеміологічних трендів. Розглянуто сильні та слабкі сторони, основні характеристики та можливі аспекти застосування.

Ключові слова: епідеміологічне програмне забезпечення, детерміністичне моделювання, стохастичне моделювання, агентоорієнтоване моделювання, високопродуктивні обчислення, системи прийняття рішень.

ТАБЛИЦЯ 1. Доступне епідеміологічне ПЗ

Програмне забезпечення	Інфекційні хвороби, що прогноуються	Методологія моделювання	Необхідні навички у користувачів
Детерміністичні			
VacStockpile	Strategic National Stockpile (USA) http://www.cdc.gov/phpr/stockpile/vacstockpile.htm		
	Вакцини проти дитячих хвороб	<ul style="list-style-type: none"> • Логістична модель забезпечення • Перспективна оцінка запасів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
GER Generic Ebola Response	Centers for Disease Control and Prevention https://stacks.cdc.gov/view/cdc/24900		
	Вірус Ebola	<ul style="list-style-type: none"> • Логістична модель забезпечення • Перспективна оцінка запасів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
FluAid 2.0	Centers for Disease Control and Prevention http://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/tools/fluaid.htm		
	Грип, ГРВІ	<ul style="list-style-type: none"> • Логістична модель забезпечення • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
FluSurge 2.0	Centers for Disease Control and Prevention http://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/tools/flusurge.htm		
	Грип, ГРВІ	<ul style="list-style-type: none"> • Логістична модель забезпечення • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
FluWorkLoss	Centers for Disease Control and Prevention http://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/tools/fluworkloss.htm		
	Грип, ГРВІ	<ul style="list-style-type: none"> • Логістична модель забезпечення • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
Asia Flu Cap	London School of Hygiene and Tropical Medicine The Communicable Diseases Policy Research Group (CDPRG) http://www.cdprg.org/asiaflucap-simulator.php		
	Грип, ГРВІ	<ul style="list-style-type: none"> • Модель передачі стану • Об'єднання логістичних моделей • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
FluLabSurge	Centers for Disease Control and Prevention http://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/tools/flulabsurge.htm		
	Грип, ГРВІ	<ul style="list-style-type: none"> • Логістична модель забезпечення • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
CPID Columbia Prediction of Infectious Diseases	Columbia Mailman School of Public Health http://cpid.iri.columbia.edu/		
	Грип, ГРВІ	<ul style="list-style-type: none"> • Модель передачі стану • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні

Продовження таблиці 1

Програмне забезпечення	Інфекційні хвороби, що прогножуються	Методологія моделювання	Необхідні навички у користувачів
Детерміністичні			
Texas Pandemic (Flu Toolkit)	The University of Texas at Austin http://flu.tacc.utexas.edu		
	Грип, ГРВІ	<ul style="list-style-type: none"> • Логістична модель забезпечення • Модель передачі стану • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
SISpread Simulation of Infectious Spreading	INSERM (The Institut national de la santé et de la recherche médicale) Fabián Alvarez, Pascal Crépey http://sispread.sourceforge.net/		
	Широкий клас інфекційних хвороб	<ul style="list-style-type: none"> • Модель передачі стану • Мережа контактів задана користувачем • Прогнозування на основі часових рядів 	Навички роботи з інтерфейсом командного рядка, робота з даними в форматі мережкових топологій
StatFlu	S-GEM (Stockholm Group for Epidemic Modeling) http://www.s-gem.se/statflu/		
	Грип, ГРВІ (окрім H5N1)	<ul style="list-style-type: none"> • Логістична модель попиту • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
Стохастичні			
Community Flu	Centers for Disease Control and Prevention http://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/tools/communityflu.htm		
	Грип, ГРВІ	<ul style="list-style-type: none"> • Ймовірнісна параметризація • Багатоітераційна модель з індивідом в основі • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні
GleamViz Global Epidemic and Mobility Model	GLEaM (The Global Epidemic and Mobility Model) Alessandro Vespignani, Vittoria Colizza http://www.gleamviz.org/simulator/		
	Широкий клас інфекційних хвороб	<ul style="list-style-type: none"> • Ймовірнісна модель передачі стану • Модель мобільності індивідів • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, розуміння епідеміологічних полігамних моделей представлених діаграмами стану
BERM Weill Cornell Bioterrorism and Epidemic Outbreak Response Model	Weill Medical College of Cornell University Created by Daniel Wattson and Nathaniel Hupert, MD, MPH http://simfluenza.org/BERMweb/input.aspx		
	Широкий клас інфекційних хвороб	<ul style="list-style-type: none"> • Ймовірнісна модель передачі стану • Дискретна логістична модель • Прогнозування на основі часових рядів 	Графічний інтерфейс, навички програмування не потрібні

Закінчення таблиці 1

Програмне забезпечення	Інфекційні хвороби, що прогноуються	Методологія моделювання	Необхідні навички у користувачів
Стохастичні			
EpiGrass	Flávio Codeço Coelho (Professor of Applied Mathematics, Fundação Getulio Vargas) https://scholar.google.com/citations?user=oAaw_SMAAAAJ&hl=en https://sourceforge.net/projects/epigrass/		
	Широкий клас інфекційних хвороб	<ul style="list-style-type: none"> • Ймовірнісна модель передачі стану • Мережа контактів задана користувачем • Прогнозування на основі часових рядів 	Навички роботи з інтерфейсом командного рядка. Також потрібно сформувати файл параметрів в спеціальному форматі
Агентоорієнтовані			
FRED Framework for Reconstructing Epidemiological Dynamics	Public Health Dynamics Laboratory of Graduate School of Public Health, University of Pittsburgh https://fred.publichealth.pitt.edu/measles		
	Широкий клас інфекційних хвороб	<ul style="list-style-type: none"> • Модель передачі стану • Прогнозування на основі часових рядів 	Навички роботи з інтерфейсом командного рядка
Modelling4All Modelling for All Project	Oxford University Computing Services, Eduserv Foundation http://m.modelling4all.org/		
	Широкий клас інфекційних хвороб	<ul style="list-style-type: none"> • Моделі передачі стану (включаючи ймовірнісні) • Прогнозування на основі часових рядів 	Користувачі мають опанувати навички створення моделей. Для побудови складніших моделей потрібне знання мови програмування Netlogo
EMOD Epidemiological MODelling software	The Institute for Disease Modeling (led by Robert Hart) (part of the Bill & Melinda Gates Foundation's Global Health Division) http://idmod.org/		
	Широкий клас інфекційних хвороб	<ul style="list-style-type: none"> • Моделі передачі стану (включаючи ймовірнісні) • Прогнозування на основі часових рядів 	Необхідність згенерувати файл параметрів у спеціальному форматі. Навички роботи з інтерфейсом командного рядка. Для побудови складніших моделей потрібне знання Python

Математичне моделювання та сценарний підхід із відтворенням тієї чи іншої гіпотетично можливої ситуації є найбільш відповідним та економічно ефективним інструментарієм оцінки можливості системи протидіяти епідеміологічній загрозі. Математичні методи інтенсивно використовувались і раніше, проте нині завдяки стрімкому розвитку обчислювальних потужностей, зниженню їх вартості, зростання доступності, технологіям масштабування (грід обчисленням [9], хмарним

сервісам [8]) дослідники можуть не обмежуватись традиційними детерміністичними моделями чи навіть більш прогресивним стохастичним моделюванням, проте також спробувати сучасний підхід агентноорієнтованого (agent base) моделювання. Доступність відповідних мов програмування та розробницьких шаблонів (frameworks) дозволяє синтетично відтворити модель епідемії з інтегруванням у неї більш взаємопов'язаних та складних динамік від поведінки окремого індивіда до узагальнення наслідків для населення всієї країни [12].

Значна частина управлінців та чиновників різних рівнів вимушена приймати свої рішення не маючи відповідного глибокого досвіду в моделюванні та побудови сценарних розрахунків. Однак, саме під час епідеміологічних спалахів на їх адміністративних територіях вони потребують як найчіткішої оцінки наслідків обрання того чи іншого курсу протиепідеміологічних заходів. Більш того, потрібно постійно відслідковувати зміну ситуації, для чого особливо корисним може бути моделювання на основі даних отримуваних у реальному часі (real time modeling). Окрім динамічності даних, їх різні формати (включаючи слабоструктуровані) та значні обсяги складають концепт Big Data. Глибокий аналіз великих за обсягами слабоструктурованих даних сучасними аналітичними методиками та методами машинного навчання потенційно складають інтелектуальну складову успішної смарт держави [13].

Однак управлінцям, перш за все, варто сфокусуватися на набутті початкового досвіду. Маємо у вільному доступі відносно широкий вибір з програмного забезпечення, що спочатку розроблявся протиепідеміологічними інституціями для внутрішнього службового використання при прийнятті рішень та надалі був відкритий для широкої громадськості. Загалом дані програми були адаптовані для підвищення їх практичного застосування. Звужено фокус на потенційних питаннях. Передбачено можливість адаптивного використання.

Згадане програмне забезпечення за типом методології умовно можливо розділити на групи детерміністичних, стохастичних та агентоорієнтованих моделей.

Детерміністичні моделі генерують свій результат на основі розрахунків часткових диференціальних рівнянь. Математичні взаємозв'язки в основі цих моделей передбачають ряд припущень. Наприклад, гомогенність певних груп, миттєвий контакт між індивідами та інші поведінкові спрощення. Варто врахувати, що небезпека будь-яких методів моделювання, і здавалося б відносно простих та зручних у використанні новачками детерміністичних моделей, може критися у виборі користувачем неправильного контексту, що потенційно матиме за результат зміщену хибну оцінку/прогноз та відповідно прийняття помилкового управлінського рішення або неприйняття потрібних рішень через занадто заспокійливі прогнози [14].

Детерміністичні моделі хоч і готові до практичного використання без специфічних додаткових налаштувань, проте все ж таки програють за своїми функціональними можливостями іншим групам. Для отримання результатів оцінки від стохастичних та агентоорієнтованих моделей спершу, власне, потрібно задати модель епідемії, для чого потрібні більш глибокі знання в сфері епідеміології, добре розуміння статистичного базису та основних припущень на яких будується модель.

Певним українським моніторинговим аналогом системи VacStockpile можуть слугувати аналітичні панелі (дашборди) КМУ щодо забезпечення медичних закладів ресурсами для боротьби з COVID-19 [15]. Інформація в них надана у розрізі областей, наведено основні показники забезпеченості обладнанням, засобами захисту та персоналом. Вказано дефіцитні позиції, є можливість розрахувати забезпеченість на період 30 та 90 днів. Функціонал інформаційної платформи має значний потенціал розвитку.

Також, з метою прогнозування наслідків коронавірусної пандемії та своєчасного вжиття заходів розпорядженням Президії НАН України від 3 квітня 2020 р. № 198 було створено робочу групу з математичного моделювання проблем, пов'язаних з епідемією SARS-CoV-2 в Україні. До складу групи ввійшли провідні фахівці та установи з Національної академії наук України, Національної академії медичних наук України та Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Оцінка побудованих моделей та побудова прогнозів в Українських реаліях засвідчує складний, надзвичайно волатильний та слабкопрогнозований шаблон поведінки динаміки COVID-19, необхідність врахування щонайбільшої кількості факторів, зокрема, зміни умов середовища в якому перебуває агент (індивід) з переходу до адаптивного режиму карантинних заходів [16].

Порівняння ПЗ з табл. 1 за критеріями інформативності, зручності використання та функціональними можливостями показано на рис. 1. Візуально можемо зазначити достатню інформативність та зручність використання ПЗ групи детерміністичних методів. Також такі моделі мають досить звужений функціональний фокус. Стохастичні моделі надають більше функціоналу, проте дещо втрачають у зручності використання. Максимальну функціональність маємо від агентоорієнтованих моделей, хоча для їх найефективнішого використання потрібно володіти відповідними навичками написання програмного коду.

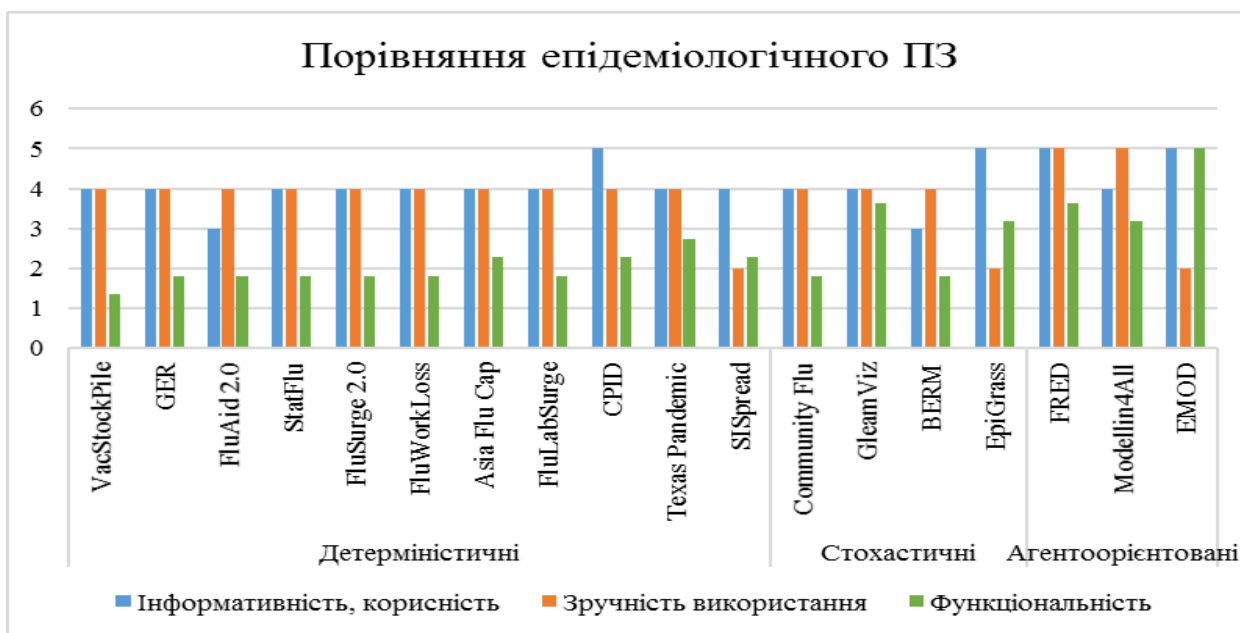


РИС. 1. Порівняння епідеміологічного ПЗ

EMOD (Epidemiological MODelling software) від Інституту моделювання хвороб (<http://idmod.org/>), що фінансується фондом Біла та Мелінди Гейтс, є лідером за функціональними можливостями. Зокрема, EMOD включає у себе:

- функціонал моделювання мобільності індивідів;
- побудову оцінок та прогнозів у розрізі демографічних груп;
- комплексний адаптивний підхід у моделюванні на основі зворотного зв'язку, взаємодії агент-середовище чи рекурсії;
- підтримку високопродуктивних обчислень (HPC – High Performance Computing), тобто можливість великомасштабних обчислень на суперкомп'ютерах, або ж моделювання задач з надзвичайно високою деталізацією;

- обробку даних у реальному часі;
- ретроспективний та перспективний режим моделювання;
- систему підтримки прийняття рішень;
- методологію підтримки системи оцінки та управління ризиками.

EMOD здатна досить точно моделювати надскладні явища та невизначеність, підтримувати широкий спектр потенційних управлінських рішень. Максимальне використання даного функціоналу вимагає від користувача досвіду в налаштуванні необхідної конфігурації та побудови епідеміологічних моделей.

Досить потужною є сервісна архітектура для підтримки інтерактивного епідеміологічного моделювання Indemics (Interactive Epidemic Simulation), що базується на високопродуктивних обчисленнях, розроблена К. Біссет та ін. [17]. Indemics спроектована для підтримки рішень у реальному часі, моніторингу ситуації, аналізу різних політик протидії як на рівні індивіда, так і на загально-суспільному рівні. Також, користувач може зупинити моделювання на певному кроці та ініціювати моделювання нової політики протидії чи посилити/послабити існуючу, – таким чином є можливість оцінити адаптацію поведінки громадян відштовхуючись від складності ситуації на певний момент. Використовується веб інтерфейс, що дозволяє працювати з системою не тільки фахівцям з аналізу/моделювання даних, а й широкому загалу медичного персоналу та державним управлінцям. Високоєфективною виявилась ідея з розділення трьох ключових складових: вимогливого до даних компоненту оцінки складних інтервенцій та поведінкової адаптації; вимогливого до даних компоненту оцінки стану; відносно загального, проте вимогливого щодо високонавантажених обчислень, компоненту моделювання розповсюдження хвороби. Слід зауважити, що задачі останньої складової найкраще вирішуються саме на кластері високопродуктивних обчислень (HPC cluster).

Формальна математична модель Indemics складається з двох частин: графічної дискретної динамічної системи коеволюції (CGDDS), завданням якої є відтворення динаміки поширення хвороби в соціальній мережі з урахуванням поведінки індивіда; та частково спостережуваного марковського процесу рішення (POMDP), що привносить елемент контролю та оптимізації. Автори Indemics розширюють POMDP складову та накладають її поверх розширеної CGDDS складової для отримання інтерактивної системи [17].

Нагадаймо, що в POMDP M складається з скінченного множини станів S , первинного стану $s_0 \in S$, скінченної множини дій A , скінченної множини спостережень O , ймовірносної функції передачі стану ts , функції спостереження $o: S \mapsto O$, та функції винагороди r , яка надає винагороду за прийняття рішення $a \in A$, доки стан системи $s \in S$. Формально розширена модель може бути визначена наступним чином:

- 1) стани $S \subseteq (D^V \times L^{V \times V})$ – всі можливі вектори вершин станів та мітки граней. Кожен стан системи є вектором довжиною $n + \binom{n}{2}$;
- 2) дії A – інтервенції, які модифікують вершини станів та мітки граней;
- 3) функція передачі стану ts обчислює поширення хвороби за інтервенцій;
- 4) функція винагороди r може обчислюватись у кількості інфікувань, або може бути комбінацією економічних та соціальних втрат.

Розширена модель CGDDS для множини станів D , та множини міток L – функція трьох аргументів (G, F, W) .

1. Графа $G(V, E)$. Нехай множина вершин $V = \{v_1, v_2 \dots v_n\}$ представляє множину індивідів (агентів). Для кожної вершини v_i , нехай вектор s_i відображає її стан $s_i = (s_i^1, s_i^2 \dots s_i^k) \in D = (D_1 \times D_2 \times \dots \times D_k)$, де k – кількість можливих станів вершини v_i . Стани індивіда відображають стан здоров'я, поведінковий стан, рівень страху, схильність до ризику.

Нехай множина граней $E = \{e_1, e_2 \dots e_m\} \subseteq (V \times V)$ відображає контакти між індивідами. Для будь-якої грані $e \in E$, нехай вектор ℓ_e відображає її мітки $\ell_e = (\ell_e^1, \ell_e^2 \dots \ell_e^h) \in L = (L_1 \times L_2 \times \dots \times L_h)$, де h – кількість міток. Враховується тривалість та тип контакту (дім, школа, робота, магазин).

2. Функцій $F = (f, g^V, g^E)$, де f – множина функцій локальної передачі, g^V – множина функцій модифікації вершин, g^E – множина функцій модифікації граней.

Для кожної вершини v_i , нехай $f_i : D \times D^{V_i} \times L^{E_i} \mapsto D$ – її функція локальної передачі, де V_i та E_i – сусідні вершини та грані v_i . Функція поширення хвороби змінює стан індивіда виходячи з:

- поточного стану індивіда;
- стану всіх сусідніх індивідів;
- поточних міток граней контактів із сусідніми індивідами.

Функція f_i – ймовірнісна, оскільки визначає стан індивіда з розподілу D на основі вищезазначених умов.

Нехай $g^V = \{g_1^V, g_2^V, \dots, g_{kV}^V\}$ множина функцій модифікації вершин k_V , де кожна функція $g_j^V : D^V \times L^E \mapsto D^V$ безпосередньо змінює стани вершин виходячи зі стану всього графу.

Нехай $g^E = \{g_1^E, g_2^E, \dots, g_{kE}^E\}$ множина функцій модифікації граней k_E , де кожна функція $g_j^E : D^V \times L^E \mapsto L^{V \times V}$ змінює грані та їх мітки виходячи з поточного стану всього графу. Зауважимо, що g^E функції можуть також додавати нові грані до графа G . Функції g^V та g^E можуть мати ймовірнісний характер.

3. Ряду W з алфавіту $g^V \cup g^E$. Нехай $W = w_1^l w_1^2 \dots w_1^{j^l} \dots w_1^l w_1^2 \dots w_1^{j^l} \dots w_T^l w_T^2 \dots w_T^{j^l}$ – розклад модифікації графа G , включаючи стан його вершин та мітки граней, де T відображає кількість кроків у часі. На кожному кроці часу t виконується функція f_i .

Висновки. Спалахи інфекційних хвороб та пандемія COVID-19, зокрема, – надзвичайно серйозний виклик у сфері охорони громадського здоров'я. Маємо у вільному доступі відносно широкий вибір з програмного забезпечення, що спочатку розроблявся протиепідеміологічними інституціями для внутрішнього службового використання при прийнятті рішень та надалі був відкритий для широкої громадськості. Загалом дані програми були адаптовані для підвищення їх практичного застосування. Звужено фокус на потенційних питаннях. Передбачено можливість адаптивного використання.

Можемо зазначити достатню інформативність та зручність використання ПЗ групи детерміністичних методів. Також такі моделі мають досить звужений функціональний фокус. Стохастичні моделі надають більше функціоналу, проте дещо втрачають у зручності використання. Максимальну функціональність маємо від агентоорієнтованих моделей, хоча для їх найефективнішого використання потрібно володіти відповідними навичками написання програмного коду.

Досить потужна – сервісна архітектура для підтримки інтерактивного епідеміологічного моделювання Indemics (Interactive Epidemic Simulation), що базується на високопродуктивних обчисленнях.

Список літератури

1. Gorbachuk V.M. Gavrilenko S.O. Analysis of dynamics of COVID-19 spreading in Ukraine and neighboring countries on May 1-10, 2020.
2. Дунаєвський М.С. Оцінка готовності Одещини до пом'якшення карантинних антисоцид-19 заходів. Тези всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми міжнародної міграції: оцінка та перспективи вирішення». 2020.
3. Лефтеров О.В. Большаков В.М. Інформаційна технологія прогнозування та моніторингу вірусного інфікування і захворювань. VIII International scientific Internet conference "Global and Regional problems of Informatization in Society and Nature Using '2020". 14 – 15 May 2020, NULES of Ukraine, Kyiv.
4. COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU) <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
5. Інформаційний дашборд Національної служби здоров'я України. <https://nszu.gov.ua/covid/dashboard>
6. Горбачук В.М., Макаренко О.С., Самородов Є.Л., Дунаєвський М.С., Сирку А.А., Сулейманов С.-Б. До інтегрованих систем візуалізації, аналізу та застосування часово-просторових даних. Глушковські читання. К.: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2017. С. 35 – 37.
7. Горбачук В.М., Кошулько А.І., Дунаєвський М.С. Питання асиметрії інформації та несприятливого відбору в організації охорони здоров'я. *Здоров'я і суспільні виміри в академічному просторі та поза ним*. К.: НаУКМА, 2018.
8. Горбачук В., Гавриленко С., Голоцуков Г., Дунаєвський М. Засади розвитку хмарних технологій. *Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання*. Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника, 2020. С. 82 – 83.
9. Суперкомп'ютер ІК НАН України. <http://icybcluster.org.ua> (дата звернення: 06.09.2020)
10. Gorbachuk V.M., Dunaievskiy M.S., Suleimanov S.-B. The Golden rule for overlapping generations. *Nonlinear analysis and applications*. Kyiv: NTUU «KPI», 2018. P. 24.
11. Heslop D.J., Chughtai A.A., Bui C.M., MacIntyre C.R. Publicly available software tools for decision-makers during an emergent epidemic – Systematic evaluation of utility and usability. *Epidemics*. 2017. 21. P. 1–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epidem.2017.04.002>
12. National Research Council (U.S) Committee on Modeling Simulation and Games. *The Rise of Games and High-performance Computing for Modeling and Simulation*. National Academies Press, Washington, D.C, xiii, 2010. 116 p.
13. Дунаєвський М.С. Від ЗДАС до Розумної Держави (smart state). *Історія, сьогодення та перспективи розвитку інформаційних технологій в Україні та світі. Матеріали VII-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції "Глушковські читання"*. К.: ТОВ "Інтерсервіс", 2018. С. 45. <https://fsp.kpi.ua/wp-content/uploads/2019/06/Glushkov-2018-sbornik.pdf?x33898>
14. Roberts M., Andraesen V., Lloyd A., Pellis L. Nine challenges for deterministic epidemic models. *Epidemics*. 2015. 10. P. 49–53. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2014.09.006>
15. КМУ Інформаційні панелі (дашборди) щодо забезпеченості медичних закладів ресурсами для боротьби з COVID-19. <https://covid19.gov.ua/analitichni-paneli-dashbordy> (дата звернення: 06.09.2020)
16. Бровченко І. Розробка математичної моделі поширення епідемії COVID-19 в Україні. *Світогляд*. 2020. 2 (82). С. 2 – 14. <http://files.nas.gov.ua/PublicMessages/Documents/0/2020/05/200506172747204-403.pdf>
17. Bisset K.R., Chen J., Deodhar S., Feng X., Ma Y., Marathe M.V. Indemics: An interactive high-performance computing framework for data-intensive epidemic modeling. *ACM Trans. Model. Comput. Simul.* 24. 1. Article 4 (January 2014), 32 p. <http://dx.doi.org/10.1145/2501602>

Одержано 09.09.2020

Дунасвський Максим Сергійович,
аспірант Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0002-6926-398X>
MaxDunaievskiy@gmail.com

Лефтеров Олександр Володимирович,
науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0002-1475-1281>

Большаков Вадим Миколайович,
науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0002-9030-9700>

УДК 519.8

М.С. Дунаевский *, А.В. Лефтеров, В.Н. Большаков

Использование общедоступного программного обеспечения в моделировании эпидемиологических трендов

Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, Киев

* *Переписка: MaxDunaievskiy@gmail.com*

Введение. Вспышки инфекционных болезней и пандемия COVID-19 в частности является серьезным вызовом в сфере здравоохранения.

Обратной стороной вызовов всегда есть возможности, и, на сегодняшний день такими возможностями являются информационные технологии, системы принятия решений, лучшие практики проактивного управления и контроля на основе современных методик анализа данных (data driven decision making) и моделирование.

В работе сделан обзор перспектив использования общедоступного программного обеспечения в моделировании эпидемиологических трендов. Рассмотрены сильные и слабые стороны, основные характеристики и возможные аспекты применения.

Цель работы. Провести обзор общедоступного ПО в сфере здравоохранения. Привести ситуации в которых будет полезен тот или иной подход. Сегментировать и выяснить эффективность моделей лежащих в основе. Отметить перспективность высокопроизводительных вычислений для моделирования распространения эпидемий.

Результаты. Детерминистические модели хоть и готовы к практическому использованию без специфических дополнительных настроек, но все же проигрывают по своим функциональным возможностям другим группам. Для получения результатов оценки от стохастических и агентоориентированных моделей сначала, нужно задать модель эпидемии, для чего нужны более глубокие знания в области эпидемиологии, хорошее понимание статистического базиса и основных допущений на которых строится модель. Среди рассматриваемого ПО, EMOD (Epidemiological MODelling software) от Института моделирования болезней является лидером по функциональным возможностям.

Выводы. Имеем в свободном доступе относительно широкий выбор из программного обеспечения, которое изначально разрабатывалось противоэпидемиологическими институтами для внутреннего служебного использования, но в дальнейшем было открыто для широкой общественности. Данные программы были адаптированы для повышения их практического применения. Сужено фокус на потенциальных вопросах. Предусмотрена возможность адаптивного использования.

Можем отметить достаточную информативность и удобство использования ПО группы детерминированных методов. Также такие модели имеют достаточно сужен функциональный фокус. Стохастические модели предоставляют больше функционала, однако несколько теряют в удобстве использования. Максимальную функциональность имеем от агентоориентированных моделей, хотя для их эффективного использования нужно обладать соответствующими навыками написания программного кода.

Ключевые слова: эпидемиологическое ПО, детерминистическое моделирование, стохастическое моделирование, агентоориентированное моделирование, высокопроизводительные вычисления, системы принятия решений.

UDC 519.8

M. Dunaievskiy^{*}, O. Lefterov, V. Bolshakov

Usage of Publicly Available Software for Epidemiological Trends Modelling

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

** Correspondence: MaxDunaievskiy@gmail.com*

Introduction. Outbreaks of infectious diseases and the COVID-19 pandemic in particular pose a serious public health challenge.

The other side of the challenge is always opportunity, and today such opportunities are information technology, decision making systems, best practices of proactive management and control based on modern methods of data analysis (data driven decision making) and modeling.

The article reviews the prospects for the use of publicly available software in modeling epidemiological trends. Strengths and weaknesses, main characteristics and possible aspects of application are considered.

The purpose of the article is to review publicly available health software. Give situations in which one or another approach will be useful. Segment and determine the effectiveness of the underlying models. Note the prospects of high-performance computing to model the spread of epidemics.

Results. Although deterministic models are ready for practical use without specific additional settings, they lose comparing to other groups in terms of their functionality. To obtain evaluation results from stochastic and agentoriented models, you first need to specify the epidemic model, which requires deeper knowledge in the field of epidemiology, a good understanding of the statistical basis and the basic assumptions on which the model is based. Among the considered software, EMOD (Epidemiological MODelling software) from the Institute of Disease Modeling is a leader in functionality.

Conclusions. There is a free access to a relatively wide set of software, which was originally developed by antiepidemiological institutions for internal use in decision-making, however was later opened to the public. In general, these programs have been adapted to increase their practical application. Got narrowed focus on potential issues. The possibility of adaptive use was provided.

We can note the sufficient informativeness and convenience of using the software of the group of deterministic methods. Also, such models have a rather narrow functional focus. Stochastic models provide more functionality, but lose some of their ease of use. We have the maximum functionality from agentoriented models, although for their most effective use you need to have the appropriate skills to write program code.

Keywords: epidemiological software, deterministic modeling, stochastic modeling, agentoriented modeling, high performance computing, decision making systems.