



ДИНАМІКА РЕСПІРАТОРНО- ВІРУСНИХ ІНФЕКЦІЙ В УРБОВЕКОСИСТЕМАХ

Ю. В. Величко

АКТУАЛЬНІСТЬ

Щорічно людство переживає хвилі інфекцій, спричинених збудниками респіраторних захворювань та грипу, через що потерпає від **соціально-економічних збитків** внаслідок **втрати працездатності** великої частини населення, особливо в умовах урбанізації.

Світовий банк підрахував, що серйозна пандемія грипу може коштувати світовій економіці **\$ 3 трлн.**

Саме тому виникає гостра потреба в **моніторингу та можливості попередження виникнення інфекційного процесу** для зменшення числа хворих та створення умов **якнайшвидшого згасання інфекції.**

МЕТА РОБОТИ

створення універсальної імітаційної моделі для контролю за поширенням інфекції та розроблення ефективних шляхів запобігання виникненню епідемій на основі визначення кількісних характеристик динаміки гострої респіраторно-вірусної інфекції (грипу) залежно від зовнішніх та внутрішніх мов функціонування урбоекосистеми.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

респіраторно-вірусні інфекції (грип)

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

динаміка вірусних інфекцій в урбоекосистемі

НАУКОВА НОВИЗНА

Вперше застосовано для дослідження циркуляції респіраторних захворювань та грипу метод створення віртуальних агентних урбоекосистем в реальних просторово-часових координатах з використанням динаміки Ланжевена для відображення поведінки агентів з нормальним розподілом ймовірностей передачі інфекції.

Математичні моделі

Дискретно-подієві

Часткова
СТОХАСТИЧНІСТЬ

централізовані

велика кількість
корегуючих
коефіцієнтів –
складність
налаштування.

Н
е
д
о
л
і
к
и

Класичні

централізовані

повна
детермінованість

гомогенність
суспільства

постійне повне і рівномірне
перемішування населення

Універсальна агентна модель



Дискретність моделі реалізується через використання паралельно існуючих агентів з автономною поведінкою **в реальних просторово-часових координатах**



Тривалість достатнього контакту **здійснюється через динаміку Ланжевена**, визначається самими агентами і є величиною статистичною



Потоки подій від всіх агентів формують інтегральну динаміку інфекції за **SIR-схемою з передачею захворювання за нормальним розподілом**

SIR-модель (схема передачі захворювання)



S – чутливі і не мають імунітету до хвороби;

I – інфіковані і можуть заражати усіх чутливих;

R – одужали і мають постійний імунітет до хвороби.

Рівняння Ланжевена (динаміка агентів)

$$\begin{cases} m_i \ddot{x}_i \langle \rangle = -\eta \dot{x}_i \langle \rangle + \delta F_x \langle \rangle \\ m_i \ddot{y}_i \langle \rangle = -\eta \dot{y}_i \langle \rangle + \delta F_y \langle \rangle \end{cases}$$

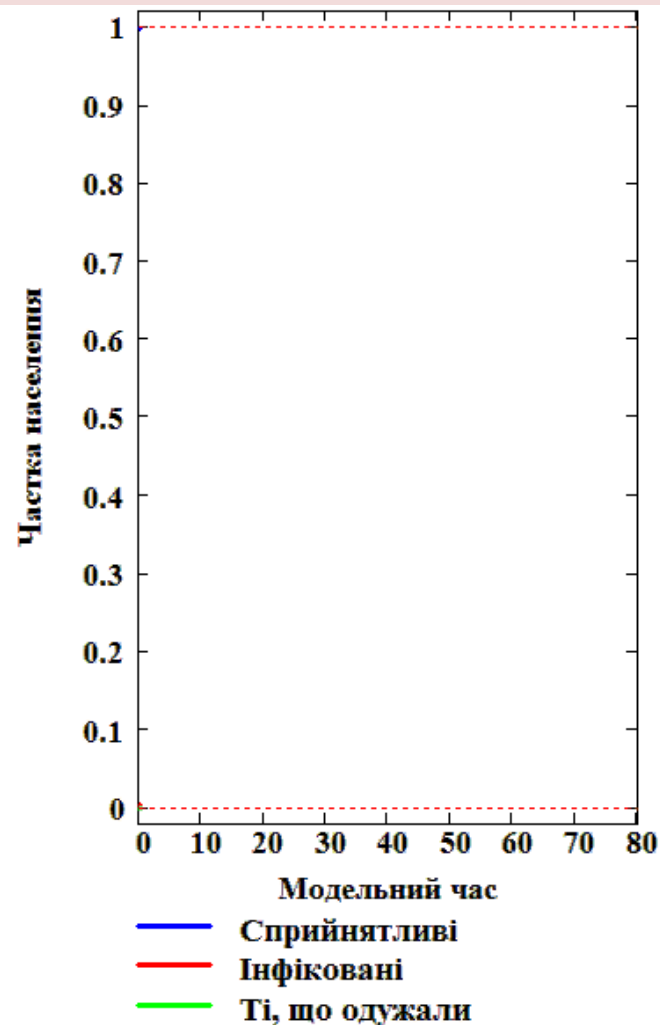
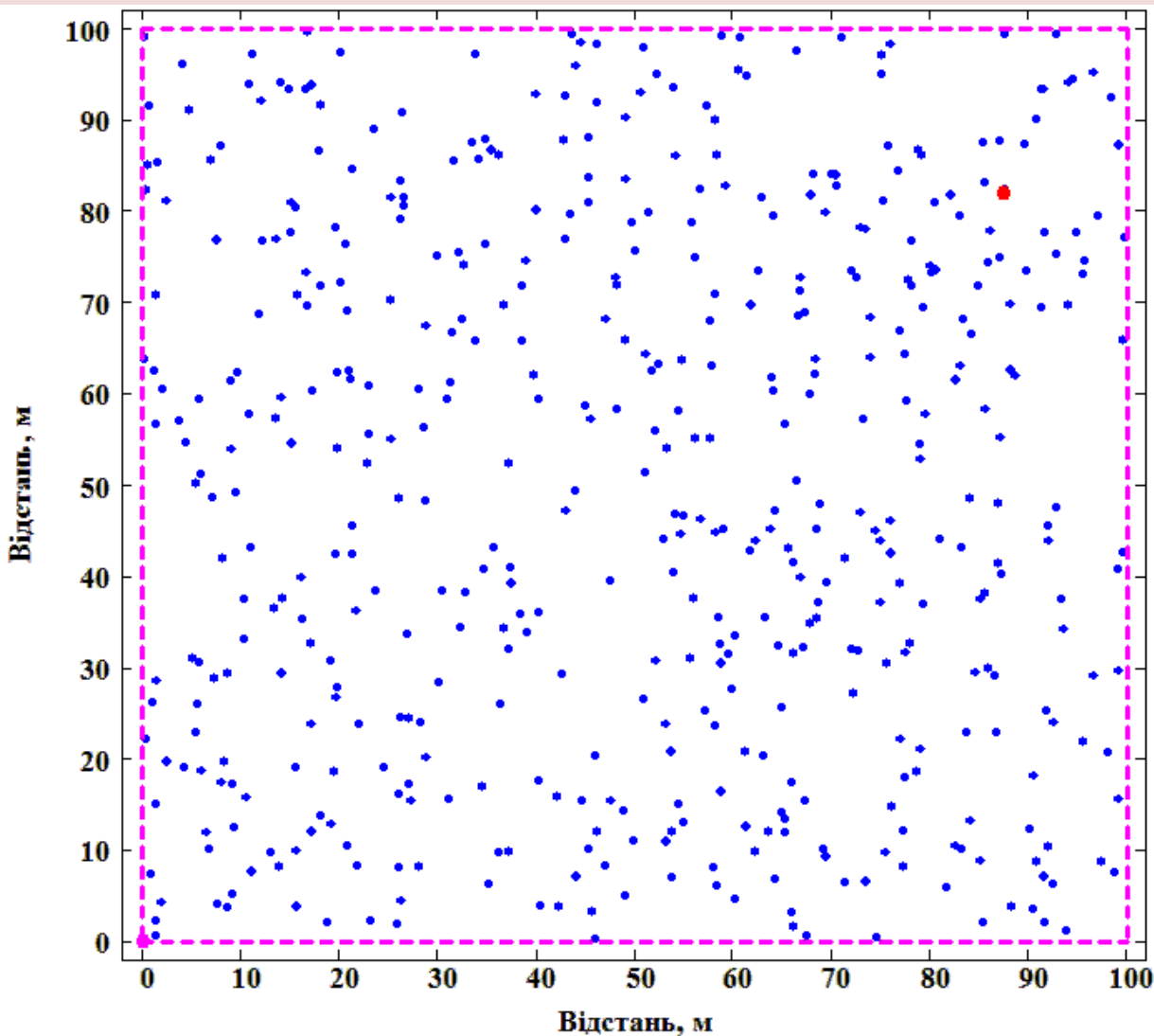
де m_i – маса i -го агента, x_i , y_i – його координати, η – коефіцієнт в'язкого тертя, $\delta F(t)$ – стохастична сила.

Імовірність інфікування чутливих особин

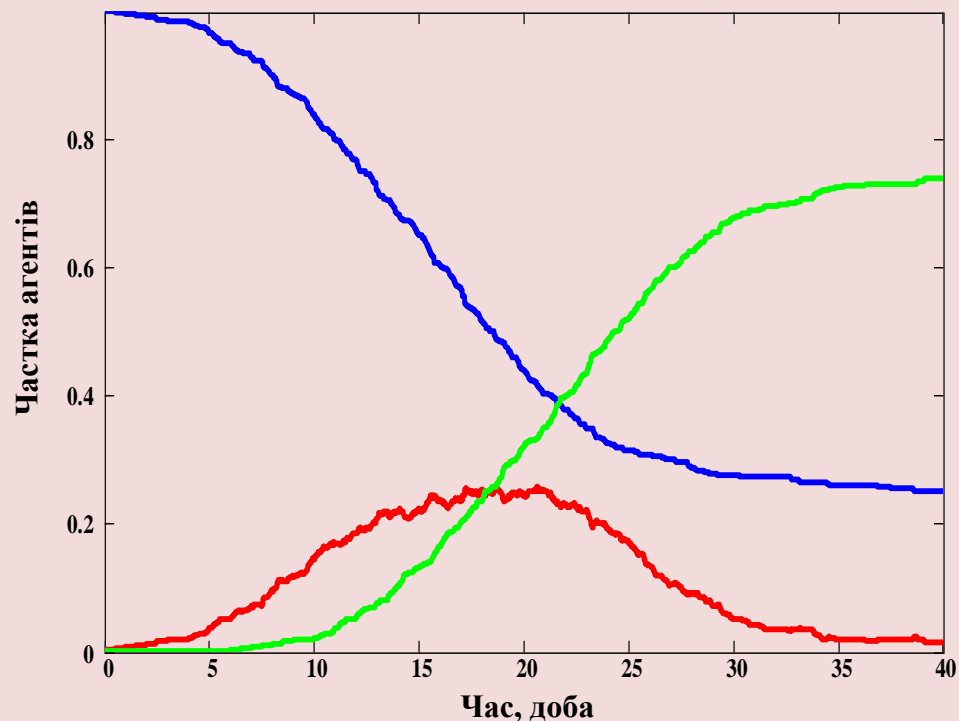
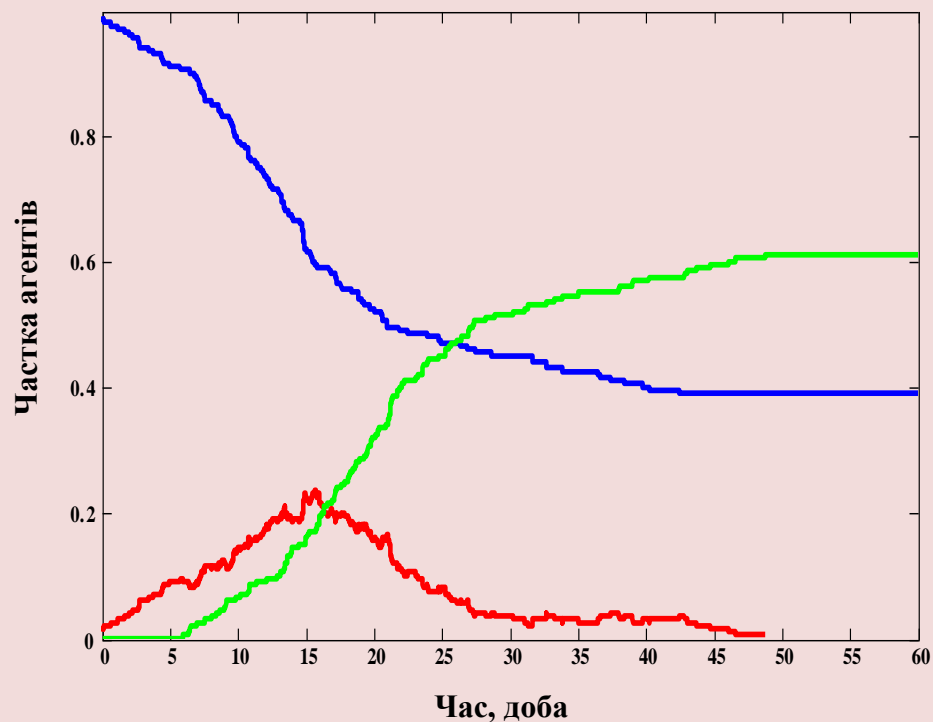
$$y(x) = \frac{scale}{\sigma_x \sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x}}$$

де σ_x – дисперсія, m_x – математичне очікування, $scale$ – коефіцієнт масштабування.

Проста система з хаотичним рухом агентів



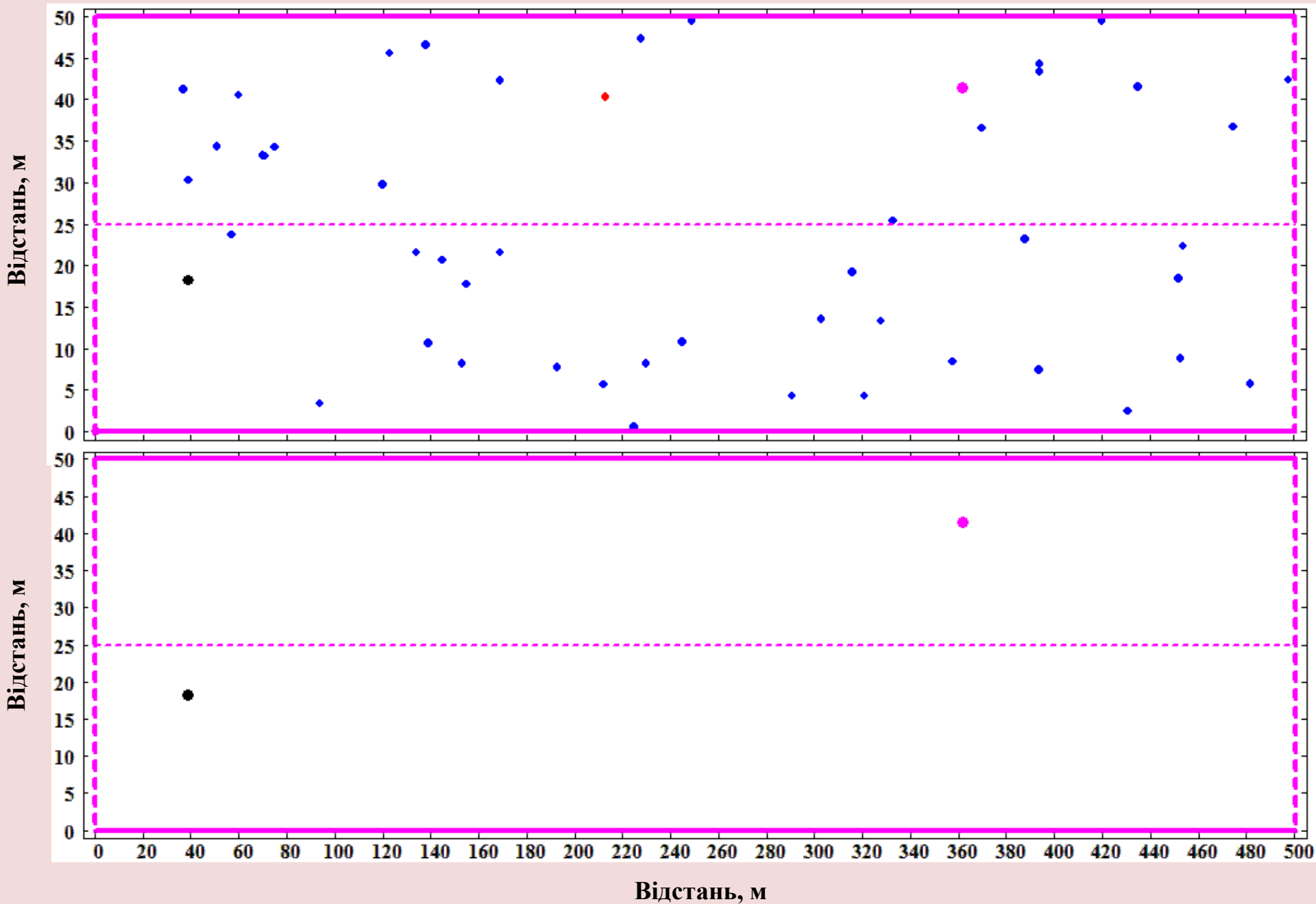
Залежність результатів моделювання від числа агентів у простій системі з хаотичним рухом



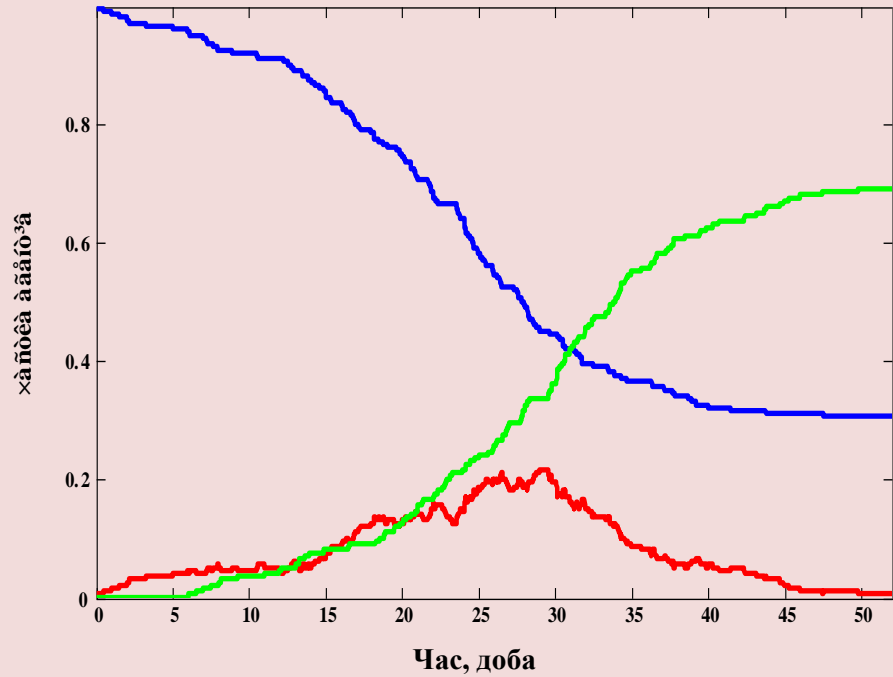
Кількість агентів у системі – 200,
щільність населення 0.01 чол./м²,
розмір резервуару 143x143 м²

Кількість агентів у системі – 500,
щільність населення 0.01 чол./м²,
розмір резервуару 223x223 м²

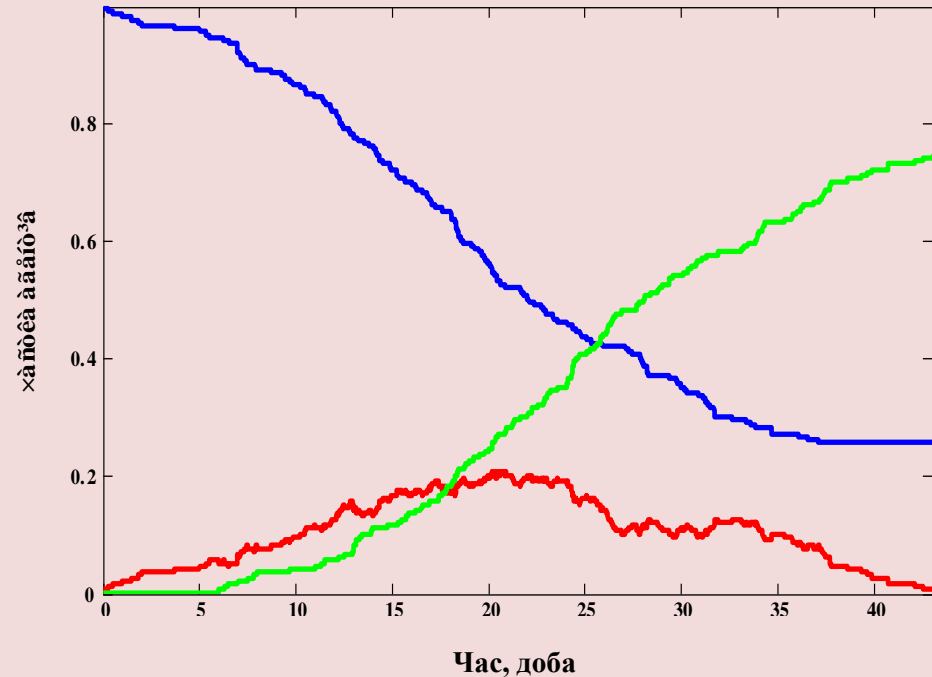
Складний хаотично-направлений рух



Залежність результатів моделювання від числа агентів у системі з урахуванням “ефекту вулиці”

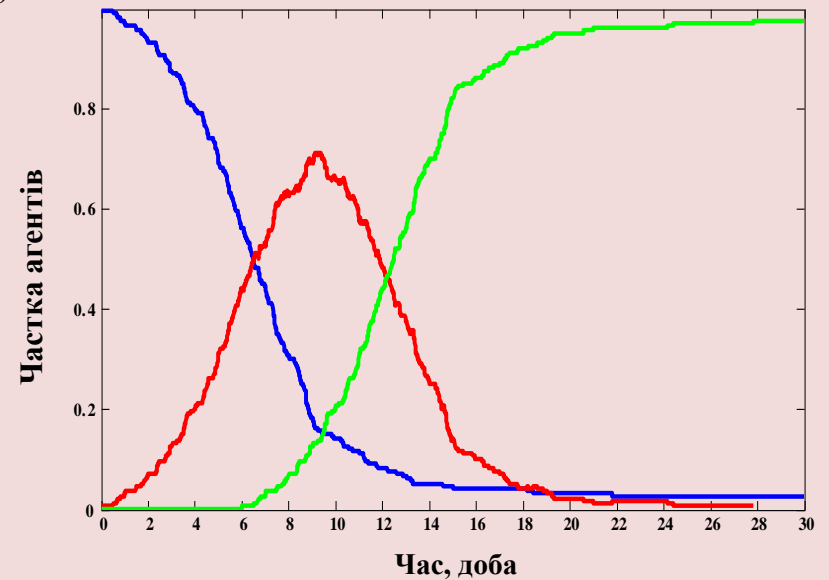
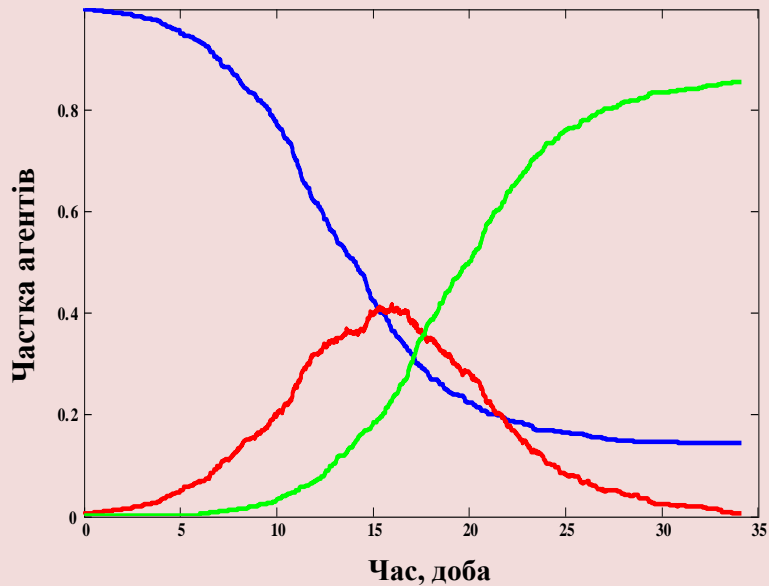
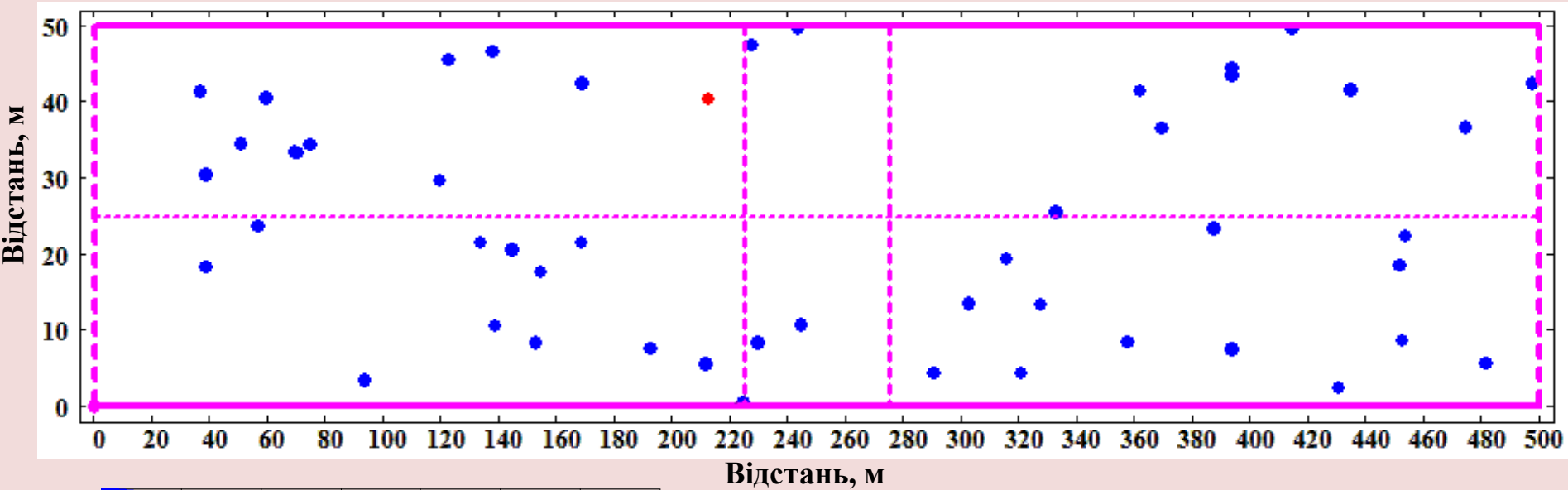


Модель з паралельним зустрічним переносним рухом. Число агентів – 200, щільність населення 0.01 чол./м², розмір резервуару 141x142 м²



Модель з направленим вздовж довгої сторони зустрічним переносним рухом. Щільність населення 0.01 чол./м². Розмір резервуару 1000x20 м²

Модель вулиці із зонами накопичення людей



Модель з концентратором агентів. Зростає швидкість розвитку епідемії та кількість інфікованих.

На графіку враховано інфікування людей у власних квартирах без застосування запобіжних засобів.

ВИСНОВКИ

1. Нами створена модель урбоекосистеми, в якій у реальних просторово-часових координатах відображені та враховані основні особливості структури міста та циркуляції респіраторних захворювань (грипу).
2. Наша модель враховує загальні ритми життя населення і елементів соціальної структури суспільства, що дозволяє ефективно прогнозувати розвиток епідемічної ситуації.
3. Розробка ефективних шляхів запобігання виникненню епідемій є можливим лише на основі моніторингу кількісних характеристик динаміки інфекційних процесів залежно від зовнішніх та внутрішніх умов функціонування урбоекосистеми з урахуванням неоднорідності цих систем.
4. Створена модель дає можливість повного моніторингу поширення інфекцій в урбоекосистемі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Эмонд Р., Роуланд Х., Уэлсби Ф. Инфекционные болезни. Цветной атлас. – М.: Практика, 1998. – 439 с.
2. Keeling M. J., Rohani P. Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals. – Princeton: Princeton University Press, 2007. – 408 p.
3. Тимаков В.Д. Микробиология. – М.: «Медицина», 1973. – 431 с.
4. Микробиология и иммунология / под ред. А. А. Воробьёва. – М.: Медицина, 1999. – 464 с.
5. Keeling M. J. and Rohani P. Modeling infectious diseases in humans and animals.– Princeton : Princeton University Press, 2008. – 408 p.
6. Люта В.А., Загорова Г.І. Основи мікробіології, вірусології та імунології. – Київ, Здоров'я, 2001. – 280 с.
7. Медуницин Н.В., Покровский В.И. Основы иммунопрофилактики и иммунотерапии инфекционных болезней: Учеб. пособие. – М.: ГЭОТАР-Ме.– 2005. – 512 с.
8. Ярилин А.А. Основы иммунологии: Учебник. – М.:Медицина. –1999. – 608 с.
9. Каретин Ю. А. Синергетика. Курс лекций для биологов. – Владивосток: Дальневосточный ГУ, 2007. – 154 с.
10. Jespersen S. Levy flights in external force fields: Langevin and fractional Fokker-Planck equations and their solutions // [Physical Review E](#). – 1999. – Vol. 59, №3. – P. 2736.

11. Забурдаев В.Ю., Чукбар К.В. Ускоренная супердиффузия и конечная скорость полетов Леви. – 2001. – С. 299–307.
12. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
13. Бородулин А.И., Десятков Б.М., Шабанов А.Н., Ярыгин А.А. Статистическая модель эпидемического процесса // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2007. – Т. 10, № 2. – С. 23-30.
14. Patel R., Longini I.M., Halloran M.E. Finding optimal vaccination strategies for pandemic influenza using genetic algorithms // Journal of Theoretical Biology. – 2005. – V. 234, № 3. – P. 201-212.
15. Chao D.L., Halloran M.E., Obenchain V.J., Longini I.M. FluTE, a publicly available stochastic influenza epidemic simulation model // PLoS Computational Biology. – 2010. – V. 6, № 1. – P. 1-8.
16. Ross R. An application of the theory of probabilities to the study of a priori pathometry. Part I // Proceedings of the Royal Society of London. – 1916.– № A 92. – С. 204-230.
17. Kermack W.O. and McKendrick W.G. A contribution to the mathematical theory of epidemics // Proceedings of the Royal Society of London. – 1927. – № A 115. – P. 700–721.
18. Brauer F., Driessche P. and Wu J. Compartmental models in epidemiology //Mathematical epidemiology. – 2008. – № 1945. – P. 1-408.

19. **Keeling Matt. J. Models of foot-and-mouth disease // Proc Biol Sci. – 2005. – Vol. 272, № 1569. – P. 1195–1202.**
20. **Арзамасцев А. А., Соломина О. А. Моделирование роста биологической популяции на плоскости // Математическое моделирование. – 2009. – № 4. – С. 59 – 64.**
21. **Авилов К.К. Математическое моделирование процессов распространения туберкулеза и выявления больных // Автоматика и телемеханика. – 2007. – №9. – с. 145-160.**
22. **Souza D. , Tome T. Stochastic lattice gas model describing the dynamics of an epidemic // Physica A. – 2010. – Vol. 389. – P. 1142 – 1150.**
23. **Плавинский С.Л. Моделирование ВИЧ-инфекции и других заразных заболеваний человека и оценка численности групп риска. Введение в математическую эпидемиологию. – М., 2009. – 100 с.**
24. **Кондратьев М.А. Разработка модели распространения инфекционных заболеваний на основе агентного подхода : автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук : спец. 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» / М.А. Кондратьев. – Санкт-Петербург, 2012. – 19 с.**
25. **Mcintyre N. E., Knowles-Yanez K., Hope D. Urban ecology as an interdisciplinary field: differences in the use of “urban” between the social and natural sciences // Urban ecosystems. – 2000. – Vol. 4. – P. 5–24.**
26. **Berec L. Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals, Department of Theoretical Ecology, Institute of Entomology, Biology Centre ASCR, Faculty of Science, University of South Bohemia, Czech Republic, 2010, p. 58.**

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ

№ п/ч	Назва заходу	Місце і дата проведення	Назва доповіді
1	IV Міжнародна наукова конференція студентів, магістрантів і аспірантів «Регіональні екологічні проблеми»	ОДЕКУ, Одеса, 23 березня 2011 р.	Моделювання поширення інфекцій в урбоекосистемах
2	Сьома міжнар. наук.-практ. конф. «Математичне та імітаційне моделювання систем (МОДС-2012)»	ЧДТУ, Чернігів, 25-28 червня 2012 р.	Імітаційне моделювання поширення інфекцій в урбоекосистемах
3	Четверта Всеукраїнська науково-практична конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки»	ПНТУ імені Юрія Кондратюка, Полтава, 8-9 грудня 2011 р.	Процеси дифузії у багатокомпонентних системах
4	П'ятий Всеукраїнський науково-практичний форум «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки»	ПНТУ імені Юрія Кондратюка, Полтава, 12-14 грудня 2012 р.	Динаміка респіраторно-вірусних інфекцій в урбоекосистемах
5	VI науково-практична конференція “Менделєєвські читання”	ПДПУ імені В.Г. Короленка, Полтава, 2012	Самоорганізація адатомів: кінетичне дослідження виникнення надструктур методом молекулярної динаміки

*...краще захворювання
попередити,
ніж лікувати!..*



**ДЯКУЮ ЗА
УВАГУ!**



ПАСПОРТ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 03.00.16 – екологія (медичні науки)

- 2.3.1. Прогнозування екологічної ситуації на рівні регіону, держави з обґрунтуванням наслідків для здоров'я населення.
- 2.3.2. Проблеми екологічної безпеки за критеріями впливу на здоров'я населення.
- 2.3.3. Оцінка якості навколишнього середовища і визначення рівня самоочищення, екологічної місткості та меж розвитку різних регіонів за гігієнічними показниками і критеріями.
- 2.3.4. Розроблення медичних основ вивчення циркуляції шкідливих речовин у довкіллі та методології санітарної хімії (хіміко-аналітичних досліджень), визначення ризику для людини й екологічних систем.

Екологія (медичні науки), серед забруднень навколишнього середовища розглядає і мікробний світ, а саме бактерії віруси, рикеції, гриби і найпростіших тощо.

Пухлянко В.П. Международные тенденции развития экологической эпидемиологии: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 303 с.

Екологічна епідеміологія - це комплексна міждисциплінарна наука, що вивчає закономірності взаємини соціальних і біологічних факторів. Завданням екологічної епідеміології є виявлення та оцінка факторів зовнішнього середовища, що роблять вплив на поширення хвороб (інфекційного та неінфекційного характеру). Предметом екологічної епідеміології є масові екологічно обумовлені хвороби серед населення.

Пухлянко В.П. Международные тенденции развития экологической эпидемиологии: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 303 с.

Всі екологічні системи в навколишньому мікросвіті змінилися настільки, що людина тепер живе в іншому співтоваристві мікроорганізмів, взаємодіє не зі звичним, що супроводжувало його еволюційно, мікросередовищем, а з новим, створеним "рукотворно", більш агресивним і вірулентним. Антибіотики зруйнували природну бактеріальну мікрофлору, але це не пройшло безслідно. Зруйновані старі екологічні ніші займають інші мікроорганізми, з якими симбіонтні відносини ще не вироблені (мікоплазми, хламідії, віруси).

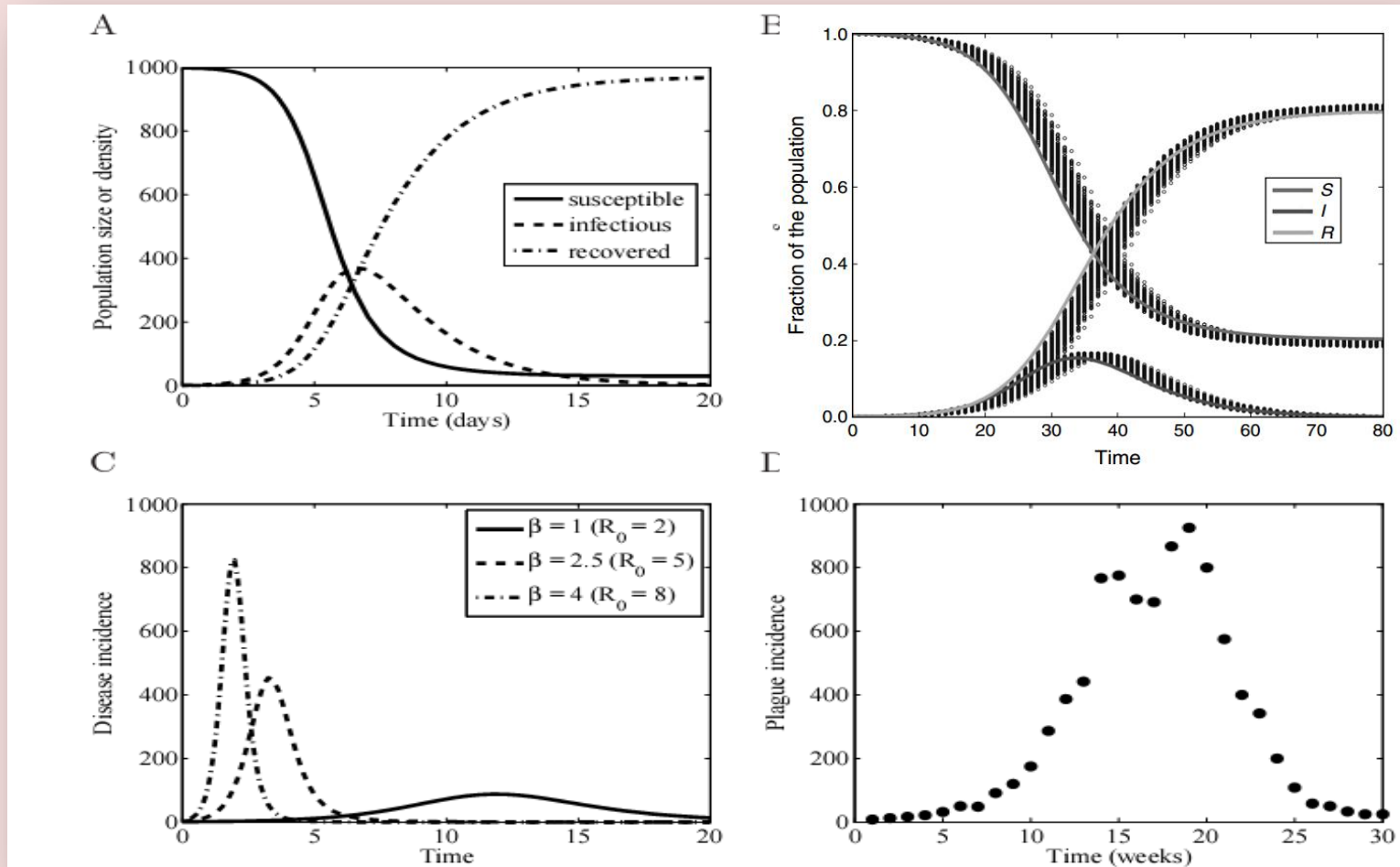
Бессонов А.Е., Калмыкова Е.А. информационная медицина в экологии человека, Научный центр информационной медицины «ЛИДО», Москва

Термін «інфекція» походить від латинської мови «infectio» – заражати, забруднювати, вносити будь-що зовні.

Поширення інфекції залежить від факторів:

- агресивності збудника;
- сприйнятності організму;
- екологічних умов: щільності населення, ступеня контактності, динаміки і характеру перемішування та переміщення, особливостей фізичних, хімічних біологічних умов, клімату, характеру забудови міста тощо;
- медичних факторів;
- соціальних

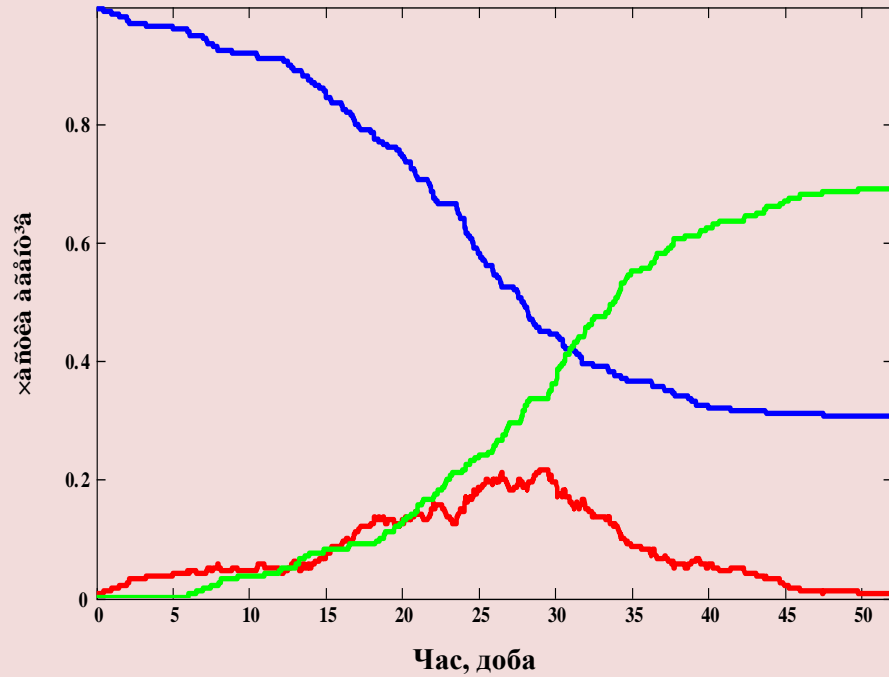
Верифікація моделі



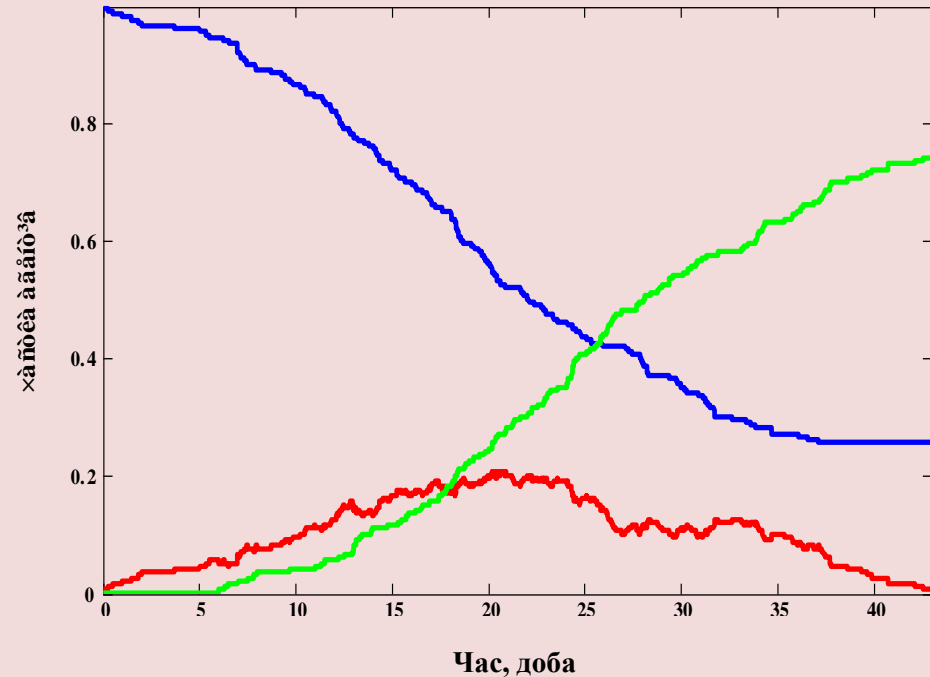
Berec L. Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals, Department of Theoretical Ecology, Institute of Entomology, Biology Centre ASCR, and Institute of Mathematics and Biomathematics, Faculty of Science, University of South Bohemia, Czech Republic, 2010, c. 58

Dimitrov N. B., L. M. Meyers, Mathematical Approaches to Infectious Disease Prediction and Control // INFORMS 2010, c. 25.

Залежність результатів моделювання від числа агентів у системі з урахуванням “ефекту вулиці”

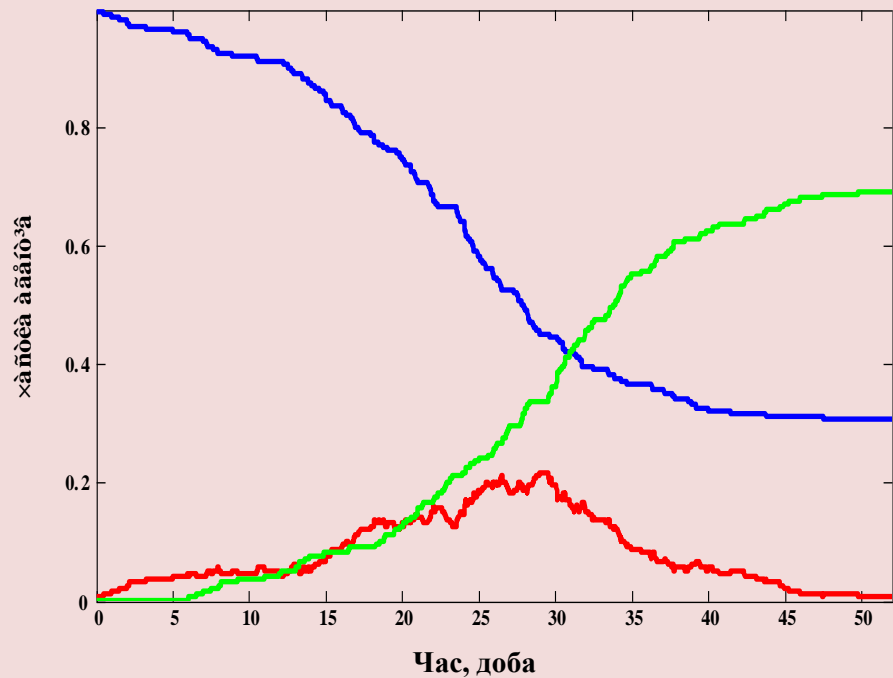


Модель з паралельним зустрічним переносним рухом. Число агентів – 200, щільність населення 0.01 чол./м², розмір резервуару 141x142 м²

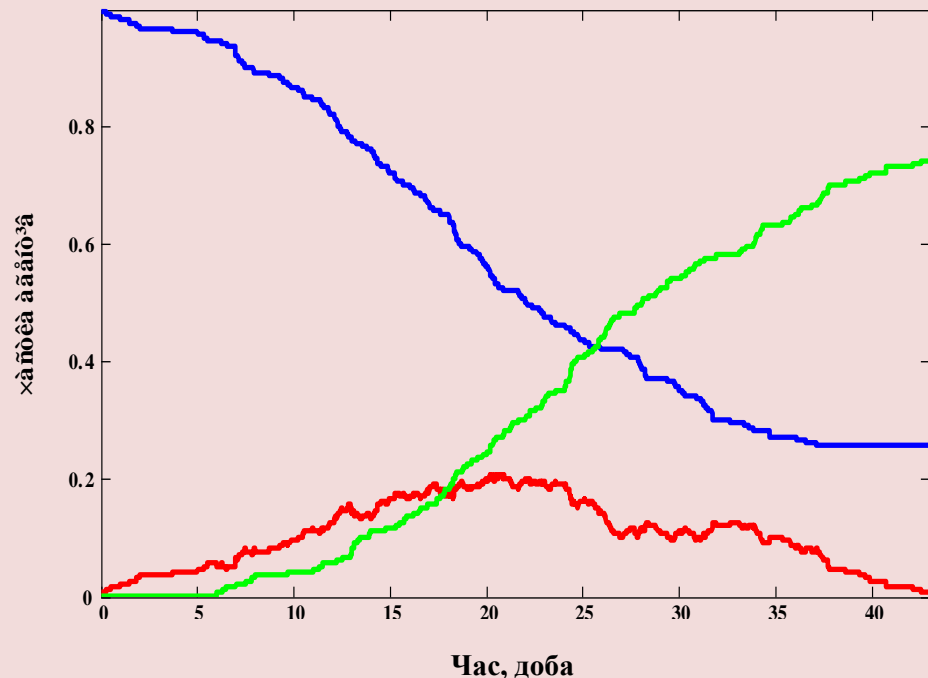


Модель з направленим вздовж довгої сторони зустрічним переносним рухом. Щільність населення 0.01 чол./м². Розмір резервуару 1000x20 м²

Залежність результатів моделювання від числа агентів у системі з урахуванням “ефекту вулиці”

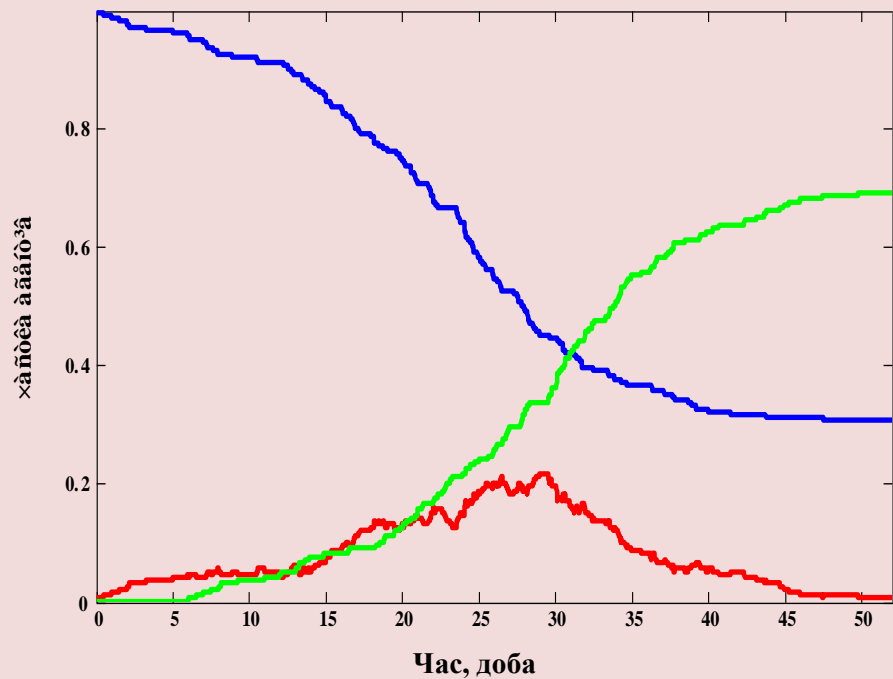


Модель з паралельним зустрічним переносним рухом. Число агентів – 200, щільність населення 0.01 чол./м², розмір резервуару 141x142 м²

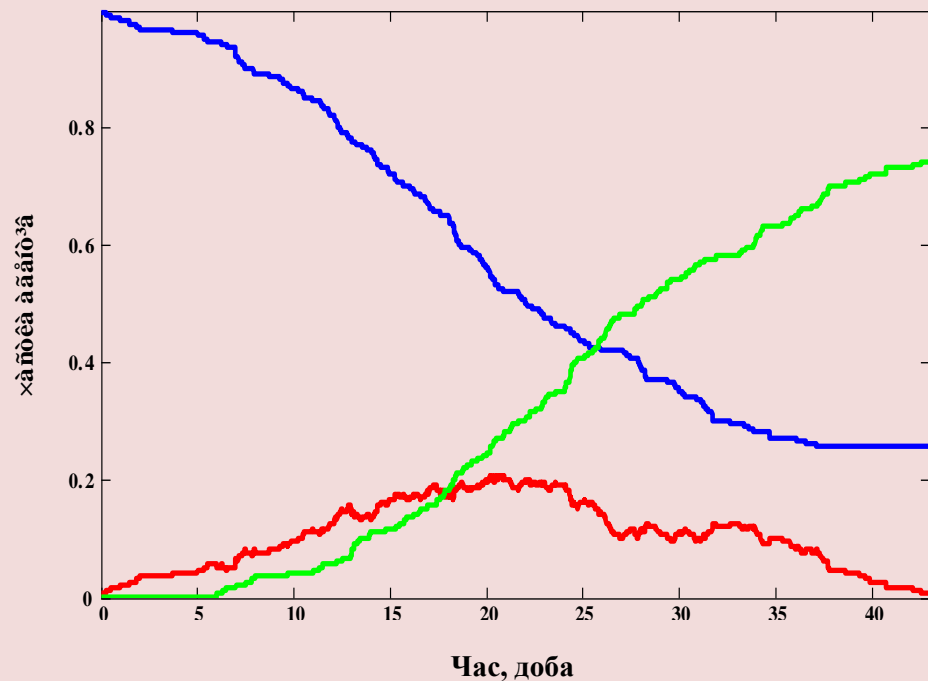


Модель з направленим вздовж довгої сторони зустрічним переносним рухом. Щільність населення 0.01 чол./м². Розмір резервуару 1000x20 м²

Залежність результатів моделювання від числа агентів у системі з урахуванням “ефекту вулиці”

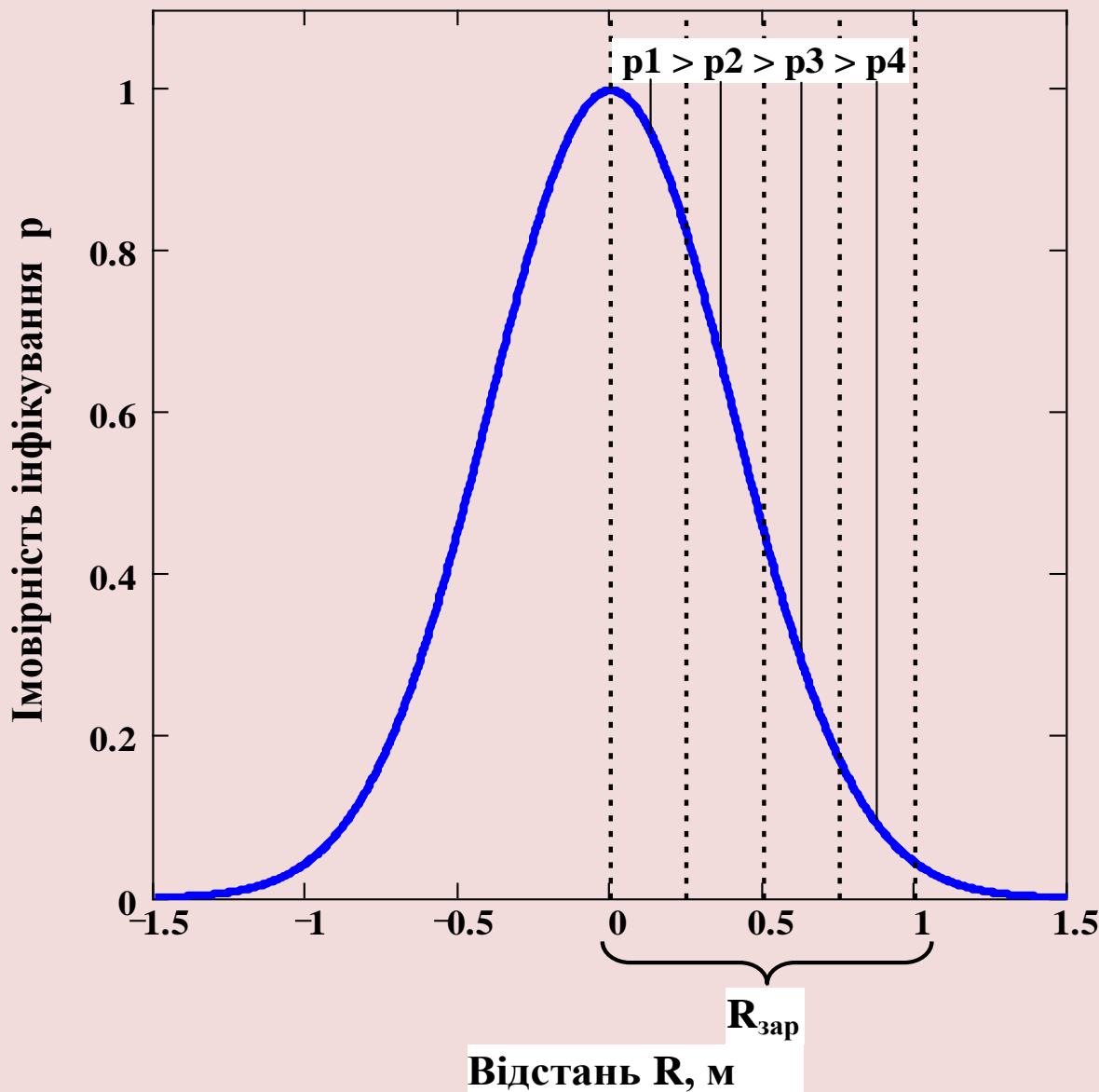


Модель з паралельним зустрічним переносним рухом. Число агентів – 200, щільність населення 0.01 чол./м², розмір резервуару 141x142 м²

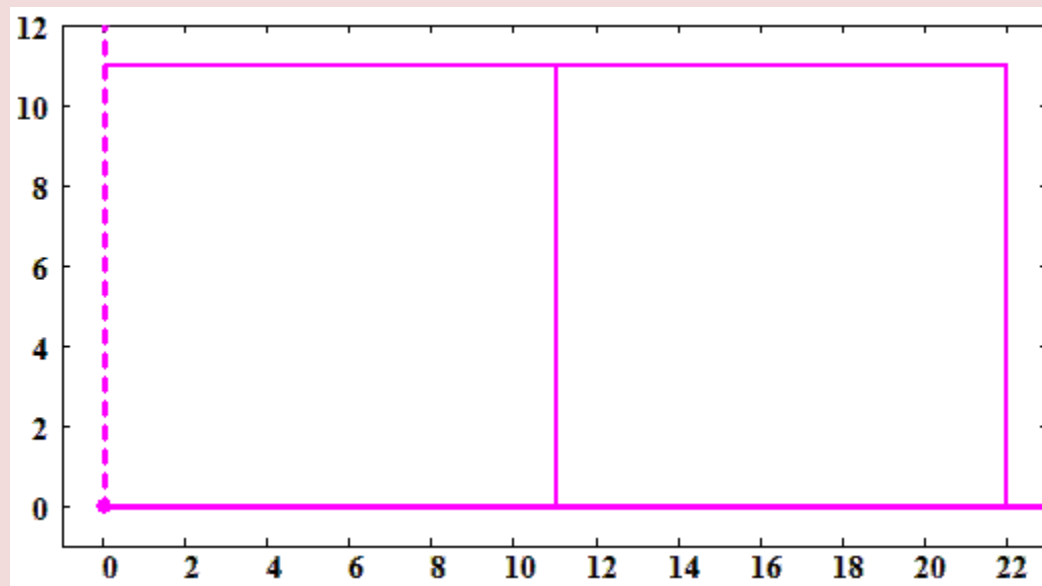
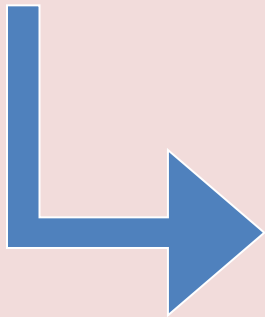
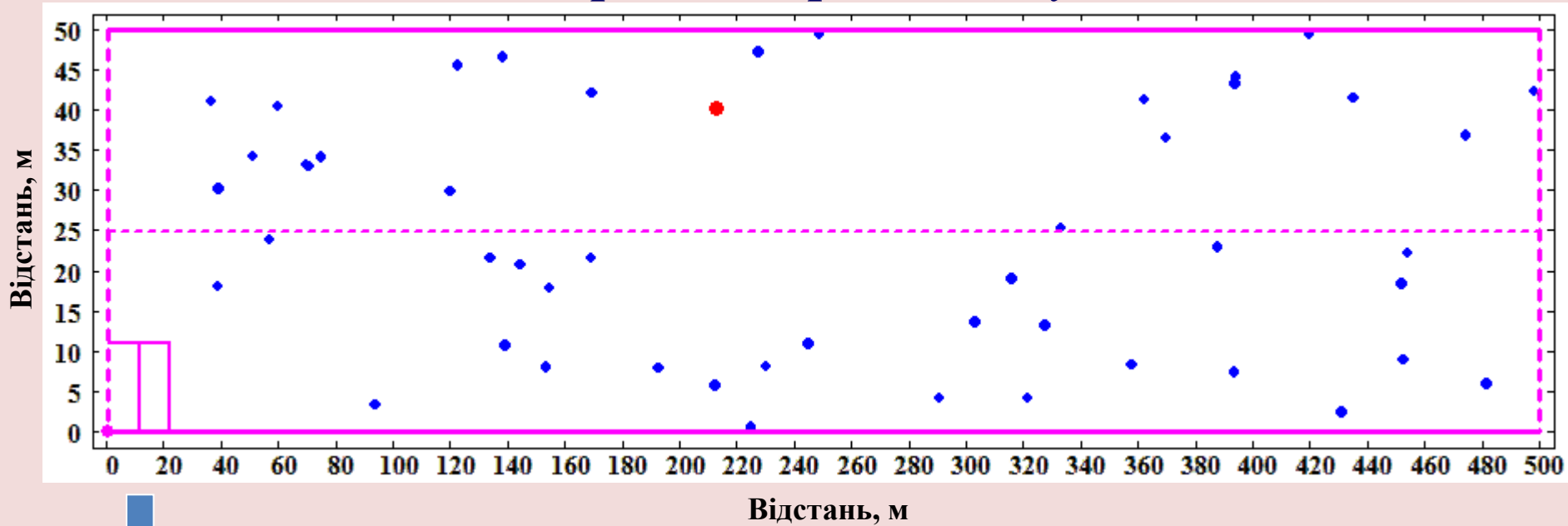


Модель з направленим вздовж довгої сторони зустрічним переносним рухом. Щільність населення 0.01 чол./м². Розмір резервуару 1000x20 м²

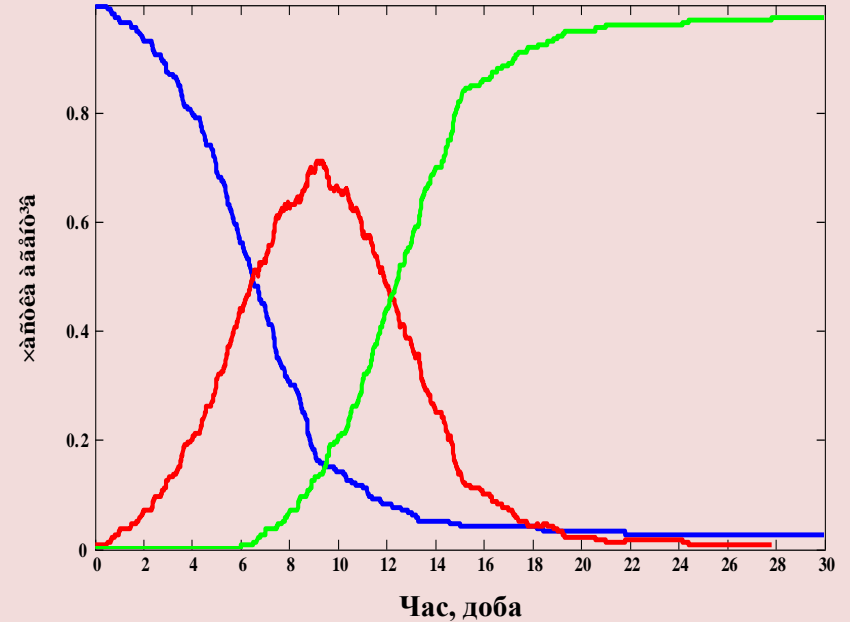
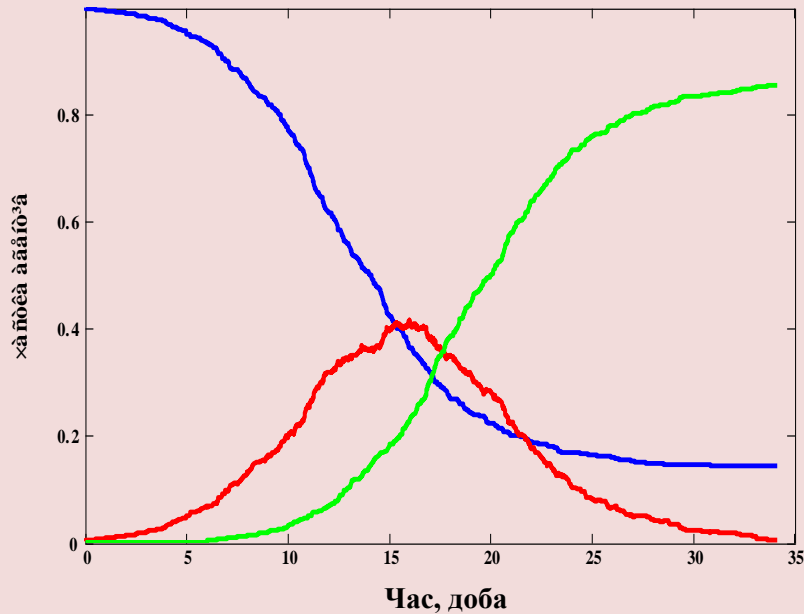
Розподіл Гаусса, за допомогою якого враховується імовірність інфікування сприйнятливою агента залежно від відстані до інфікованого



Хаотичний рух у резервуарі із зонами накопичення, що мають непроникні границі (“будинками”)



Верифікація моделі. Залежність результатів моделювання від числа агентів складній системі на вулиці та у будинках



Модель із зустрічним переносним рухом, у якій виділяється концентратор агентів із розмірами $200 \times 50 \text{ м}^2$. Середня щільність $0,01 \text{ чол./м}^2$. Кількість агентів – 500. Розмір резервуару $1000 \times 50 \text{ м}^2$

Модель аналогічна попередній, але доповнена необхідністю агентів на ніч збиратися в свої квартири. Якщо у сім'ях не дотримуються правил захисту, то розвиток епідемії набуває катастрофічних значень