

УДК 616.9-022.3-036-2-047.58

# Информационная технология имитационной системы эпидемического процесса

**Д. И. Чумаченко<sup>1</sup>, Т. А. Чумаченко<sup>2</sup>, Ю. К. Чернышев<sup>1</sup>, А. В. Товстик<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина<sup>2</sup>Харьковский национальный медицинский университет, Украина

## Резюме

Рассмотрена возможность мульти-агентного моделирования динамики распространения инфекционного заболевания на примере вирусного гепатита В. Разработана имитационная модель. Модель позволяет осуществлять эпидемиологическую диагностику гепатита В, выявить основные факторы, влияющие на интенсивность и проявление эпидемического процесса, а также проверить эффективность профилактических мер. Параметры модели могут быть настроены для моделирования инфекций со сходным механизмом передачи.

**Ключевые слова:** мультиагентное моделирование, дискретно-событийное моделирование, моделирование распространения заболевания, вирусный гепатит В, механизм передачи.

**Клин. информат. и Телемед.**  
**2012. Т.8. Вып.9. с.129–132**

## Введение

Современная эпидемиология инфекционных болезней как наука о закономерностях возникновения, развития и прекращения эпидемического процесса и способах его ограничения и ликвидации накопила огромный теоретический, практический и экспериментальный материал, который является основой для разработки и внедрения научно обоснованных эффективных мер предупреждения и борьбы с инфекционными заболеваниями [1, 2]. Установление основных причин эпидемического процесса в конкретных условиях пространства и времени дает возможность рационально и эффективно использовать трудовые и материальные ресурсы, воздействуя на ведущие движущие силы эпидемического процесса. Решение вопроса об основных факторах, влияющих на заболеваемость, усложняется при инфекциях, реализация механизма передачи возбудителя которых может осуществляться многими путями. К таким инфекциям относятся ВИЧ/СПИД, вирусные гепатиты В, С и др. При этих инфекциях передача возбудителя может осуществляться как естественными путями (половой, трансплацентарный, в родах при прохождении плодом родовых путей, контактно-бытовой), так и искусственными (переливания крови, использование общих шприцов для инъекций, загрязненного кровью медицинского инструментария и др.) [3]. Использование математического моделирования эпидемического процесса расширяет диагностические возможности эпидемиологического метода и позволяет вскрыть реальные причины

существования эпидемического процесса на конкретной территории в определенный период времени.

Формально-математическое и количественное моделирование, традиционно используемые в эпидемиологии, основаны на использовании систем интегро-дифференциальных уравнений, решением которых является уровень инфекционной заболеваемости в каждый момент модельного времени. Математические формулы выводятся из цифровых материалов, характеризующих параметры эпидемического процесса, включая конкретные факторы риска [4, 5].

Классические модели распространения заболеваний продолжают развиваться и сегодня, однако такие модели используют допущения, делающие результаты прогнозирования с их помощью недостаточно точными. Для применения математического аппарата дифференциальных уравнений в таких моделях предполагается, что все индивиды однотипны и непрерывно и равномерно перемешиваются на моделируемой территории. В действительности же большинство реальных популяций имеют крайне сложную структуру, обусловленную социальным и поведенческим расслоением, сложными временными и пространственными взаимодействиями. Кроме того, традиционные модели являются полностью детерминированными и подходят только для оценки поведения очень больших популяций. Природа эпидемических процессов носит стохастический характер, поэтому пренебрегая случайными факторами, можно получить грубые или ошибочные результаты моделирования.

Учитывая последние достижения в области математического и имитацион-

ного моделирования, формирование моделей, устраняющих ограничения традиционных моделей, является в настоящее время реализуемой задачей [6, 7]. Для этого целесообразно использовать имитационные мультиагентные дискретно-событийные модели, которые на этапе исполнения представляют собой некоторое множество переменных состояний, характеризующих модель, а также список запланированных событий, которые должны произойти в определенной последовательности в будущем [8].

Мультиагентное моделирование обеспечивает взаимодействие большого количества частиц с учетом их индивидуальных параметров и характеристик и имеет ряд преимуществ:

1. Поведение модели определяется на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат взаимодействия агентов, каждый из которых взаимодействует со средой и другими агентами.

2. Существует возможность использования данного типа моделирования без знания глобальных зависимостей агентов, т. к. глобальное поведение можно вывести из модели, понимая правила взаимодействия агентов на индивидуальном уровне.

3. Мультиагентную модель проще поддерживать: корректировки обычно можно осуществить на локальном уровне, и глобальные изменения не требуются [9].

С учетом вышеизложенного **целью данной работы** явилось построение математической модели эпидемического процесса инфекции на примере вирусного гепатита В (ВГВ) на основе имитационного подхода.

## Материалы и методы исследования

Эпидемиологическая модель ВГВ основана на концепции эпидемического процесса Л. В. Громашевского, согласно которой эпидемический процесс существует при непрерывном взаимодействии трех основных компонентов — источника инфекции, механизма передачи и восприимчивого организма [10]. ВГВ — это антропонозная инфекция, источником при которой может быть больной человек с разной выраженностью клинических симптомов и вирусоноситель. При построении модели учитывалась

длительность инкубационного периода, периода разгара клинических проявлений и реконвалесценции, продолжительность носительства. Учитывались основные пути передачи вируса [3]. Использовались данные официальной статистики по г. Харькову.

Для построения математической модели эпидемического процесса ВГВ было применено имитационное мультиагентное моделирование. Данный подход основан на учете множества параллельно протекающих элементов исследуемого процесса, каждый из которых при моделировании описывается совокупностью детерминированных и случайных параметров, определяющих особенности «жизненного цикла» агента. Агент — это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может поступать в соответствии с некоторым набором правил, может взаимодействовать с окружением и другими агентами, и в процессе функционирования может менять свое поведение и учитывать изменение внешней среды.

## Результаты и обсуждение

С использованием теоретических знаний об эпидемическом процессе ВГВ и конкретных цифровых материалов

проявлений эпидемического процесса ВГВ в г. Харькове разработан прототип программной системы, которая включает в себя подсистему мультиагентного моделирования и специализированные статистико-математические подсистемы, которые позволяют обрабатывать результаты моделирования и проводить условную оптимизацию выбранных целевых функций (уровень заболеваемости населения и контингент групп риска, эффективность определенных профилактических и противоэпидемических мероприятий и т. п.).

Экранные формы программного продукта представлены на рисунках 1–3.

Отличительной особенностью мультиагентного подхода при составлении алгоритма поведения агента в данном случае является автоматное представление. Вход каждого из них — время ближайшего события. Если текущее время превосходит заданное время ближайшего события, то это событие обрабатывается. Результатом обработки является номер новой области, время следующего события и его номер.

Событийный подход применяется к коллективу агентов (модельных частиц), перемещающихся в области, представленной набором прямоугольных ячеек. В списке событий имеются события — пересечения границ ячеек; эти события образуют поток событий первого типа. События этого типа представлены возрастающей последовательностью моментов времени; каждое из них обрабатывается как переход из одной ячейки в другую.

Для каждого из событий первого типа точно вычисляется момент времени,

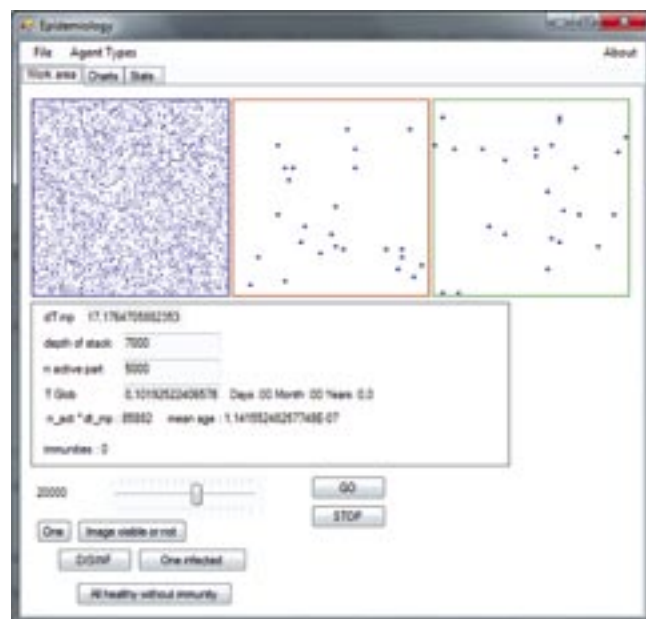


Рис. 1. Главная панель управления процессом моделирования.

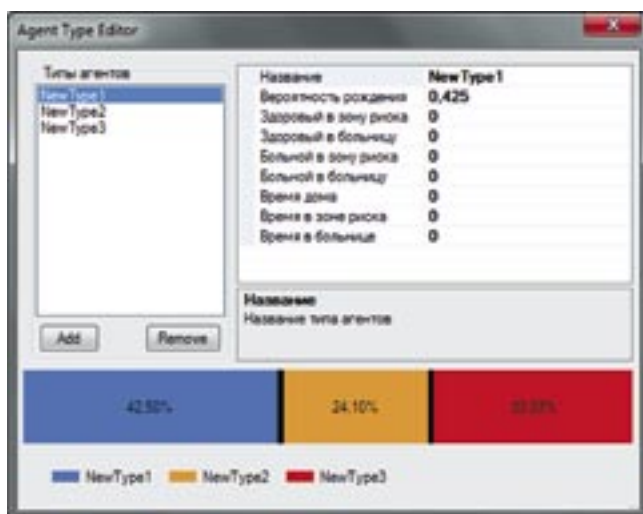


Рис. 2. Редактор типов агентов.

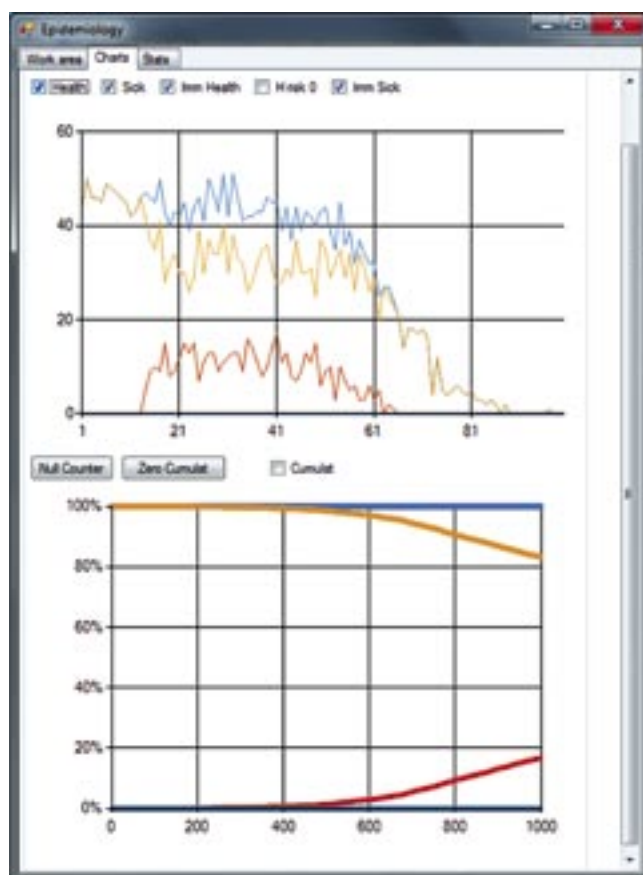


Рис. 3. Графическая визуализация процесса моделирования.

когда оно происходит. Это и составляет основу рассматриваемой модели. Это позволяет без затруднений фиксировать наступление событий второго потока событий, связанных с переходом из одного внутреннего состояния в другое.

Для рассмотрения было выделено четыре области (ячейки): 1. дом; 2. место, где можно заразиться (зона риска); 3. больница (место изоляции); 4. область для агентов, находящихся за пределами системы.

Агенты могут находиться в одном из следующих состояний: 1. здоров (восприимчив); 2. инфицирован (источник инфекции); 3. болен (источник инфекции); 4. иммунный; 5. летальный исход.

Предполагается, что каждый агент относится к одному из типов, предварительно определённых пользователем. Для каждого типа агентов характерны различные вероятности перехода в зону риска и в зону «больница» в здоровом (восприимчивом) состоянии, а также в состоянии болезни.

Кроме того, каждый тип предопределяет для агента длительность пребывания в той или иной зоне. По истечению пребывания в той или иной зоне, агент с заданной вероятностью переходит в другую зону. Также каждый агент обладает такой характеристикой как возраст, что позволяет создавать более реалистичную логику эпидемического процесса.

В эпидемическом процессе участвуют агенты, находящиеся в состояниях: «Здоров, восприимчив», «Инфицирован» или «Болен». Очевидно, что иммунные агенты, приобретшие иммунитет, и агенты с летальным исходом не могут участвовать в эпидемическом процессе. Рассмотрим логику эпидемического процесса для указанных трёх типов:

- Агент здоров, восприимчив. Предполагается, что здоровый восприимчивый агент с определённой вероятностью инфицируется, если попадает в ячейку где присутствует инфицированный «фактор передачи (инструмент)». В результате агент либо меняет состояние на «Инфицирован», либо остаётся в состоянии «Здоров, восприимчив».
- Агент инфицирован. В случае инфицирования, агент заболевает не сразу, а по истечении инкубационного периода (45–180 модельных суток). Инфицированный агент может с низкой вероятностью заражать других агентов.
- Агент болен. Находясь в этом состоянии, агент может с определённой вероятностью заразить «фактор передачи (инструмент)», находящийся с ним в одной ячейке. Считаем, что агент не может выздороветь самостоятельно, поэтому он остаётся в данном состоянии до тех пор, пока не посетит больницу, или пока не перейдет в состояние «летальный исход».

В модели учтено, что помимо этого, существует также возможность передачи заболевания половым путём. Данная особенность эпидемического процесса реализована следующим образом. На первом этапе проверяется возможность контактного заражения посредством следующих условий: когда в одной ячейке вместе с текущим обрабатываемым

мым агентом, располагаются также и другие агенты; текущий агент является совершеннолетним; агент находится не в зоне «Больница».

Затем для каждой пары агентов (образующихся из текущего обрабатываемого агента с остальными агентами в текущей ячейке) проверяются следующие условия: второй агент является совершеннолетним; по крайней мере один из агентов является источником инфекции.

При выполнении данных условий считается, что с определённой вероятностью между агентами происходит половой контакт и здоровый агент инфицируется.

В модели задано время жизни агента. При превышении этого времени состояние агента меняется на «Летальный исход» (от старости). Смерть агента осуществляется переходом его в область «Иной мир».

Для реалистичности модели, было определено, что агенты не только умирают, но и рождаются (иначе бы исследуемая популяция быстро исчерпала себя из-за болезни и старения). «Рождение» нового агента происходит путём перемещения его из области «Иной мир» в область «Дом» с установкой всех его характеристик в начальное состояние (возраст, состояние).

## Выводы

1. Предложена информационная технология эпидемиологической диагностики ВГВ с учетом конкретных условий пространства и времени.

2. Имитационный мультиагентный подход развит применительно к задаче моделирования эпидемического процесса ВГВ. Сформулированы правила поведения агентов, свойства окружающей среды.

3. Построена стохастическая мультиагентная дискретно-событийная модель распространения ВГВ на территории одного города. Ее параметры могут быть настроены для моделирования инфекции со сходным механизмом передачи (ВИЧ/СПИД, вирусный гепатит С и др.).

## Литература

1. Черкасский Б. Л. Руководство по общей эпидемиологии. – М.: Медицина, 2001. – 560 с.
2. Беляков В. Д., Яфаев Р. Х. Эпидемиология: Учебник. – М.: Медицина, 1989. – 416 с.

3. Шахгильдян И. В., Михайлов М. И., Онищенко Г. Г. Парентеральные вирусные гепатиты (эпидемиология, диагностика, профилактика). – М., ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2003. – 384 с.
4. Боев Б. В. Современный этап математического моделирования процессов развития и распространения инфекционных заболеваний // Сборник научных трудов. – М., 1991. – 215 с.
5. Hethcote H. W. The mathematics of infectious diseases. *Society for Industry and Applied Mathematics (SIAM review)*. – 2000; 42. – p. 599–653.
6. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование на AnyLogic 5. // БХВ\_Петербург, С-Пб., 2005, – С41–48.
7. Oleksiy Sokolov, D. Chumachenko, Oleksandr Sokolov: Multiagent Investigation of Epidemic Disease Using Fuzzy Logic. *Proceedings of East West Fuzzy Colloquium 2006 (13th Zittau Fuzzy Colloquium, September 13–15, 2006)*. – Institut für Prozesstechnik Prozesautomatisierung und Messtechnik, 2006. – P.55–60.
8. Кондратьев М. А., Ивановский Р. И., Цыбалова Л. М. Применение агентного подхода к имитационному моделированию процесса распространения заболевания *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Наука и образование»*. – 2010. – Т. 2, № 2. – С. 139–195.
9. Чумаченко Д. И. Применение мультиагентного моделирования в машиностроении // *Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2006»*: Тези доповідей. – Харків: Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», 2006. – С.185.
10. Громашевский Л. В. *Общая эпидемиология*. – М.: Медицина, 1965. – 290 с.

## Information technology of epidemic process simulation system

*D. I. Chumachenko<sup>1</sup>, T. O. Chumachenko<sup>2</sup>  
Yu. K. Chernyshev<sup>1</sup>, A. V. Tovstik<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine  
<sup>2</sup>Kharkiv National Medical University Ukraine

### Abstract

The possibility of multiagent simulation of the dynamics of an infectious disease spreading by the example of hepatitis B has been considered. A simulation model has been developed. The model allows making the epidemiological diagnosis of hepatitis B, to identify the main factors affecting the intensity and manifestation of the epidemic process, and to test the effectiveness of preventive measures. Model parameters can be configured to simulate infections with a similar mechanism of transmission. **Key words:** multiagent simulation, discrete-event simulation, modeling of the

disease spreading, viral hepatitis B, transmission mechanism.

## Інформаційна технологія імітаційної системи епідемічного процесу

*Д. І. Чумаченко<sup>1</sup>, Т. О. Чумаченко<sup>2</sup>  
Ю. К. Чернишев<sup>1</sup>, А. В. Товстік<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського Харківський авіаційний інститут» Україна

<sup>2</sup>Харківський національний медичний університет, Україна

### Резюме

Розглянуто можливість мультиагентного моделювання динаміки розповсюдження інфекційного захворювання на прикладі вірусного гепатиту В. Розроблено імітаційну модель. Модель дозволяє здійснювати епідеміологічну діагностику гепатиту В, виявити основні фактори, що впливають на інтенсивність і прояв епідемічного процесу, а також перевірити ефективність профілактичних заходів. Параметри моделі можуть бути налаштовані для моделювання інфекцій з подібним механізмом передачі.

**Ключові слова:** мультиагентне моделювання, дискретно-подієве моделювання, моделювання розповсюдження захворювання, вірусний гепатит В, механізм передачі.

## Переписка

**Д. І. Чумаченко**

Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» ул. Чкалова, 17  
Харьков, 61070, Україна  
тел.: +380 (57) 707 43 04  
+380 (57) 707 43 62  
ел. почта: dichum@mail.ru