

УДК 004.89: 614.446.3

Д.И. Чумаченко<sup>1</sup>, А.С. Гончаренко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»,  
г. Харьков, Украина, dichumachenko@gmail.com;

<sup>2</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, anthonygoncharenko@gmail.com;

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВИЧ-ИНФЕКЦИИ

В статье рассмотрены проблемы прогнозирования эпидемического процесса ВИЧ-инфекции. Для решения данной проблемы разработана интеллектуальная мультиагентная модель, позволяющая учесть факторы, влияющие на заболеваемость, распределение по возрастным категориям и группам риска. Модель использует статистические данные о реальной заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Харьковской области с 2010 по 2016 года. Интеллектуальная мультиагентная модель реализована программно в среде разработки Visual Studio 2013 на языке программирования C#. Разработанный программный комплекс показывает высокую точность построенного прогноза.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ, ВИЧ-ИНФЕКЦИЯ, ЭПИДЕМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

Д.І. Чумаченко, А.С. Гончаренко Застосування інтелектуального мультиагентного підходу до моделювання епідемічного процесу ВІЛ-інфекції. У статті розглянуті проблеми прогнозування епідемічного процесу ВІЛ-інфекції. Для вирішення даної проблеми розроблена інтелектуальна мультиагентна модель, що дозволяє врахувати чинники, що впливають на захворюваність, розподіл за віковими категоріями та групами ризику. Модель використовує статистичні дані про реальну захворюваність на ВІЛ-інфекцію в Харківській області з 2010 по 2016 роки. Інтелектуальна мультиагентна модель реалізована програмно в середовищі розробки Visual Studio 2013 на мові програмування C#. Розроблений програмний комплекс показує високу точність побудованого прогнозу.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНА МУЛЬТИАГЕНТНА МОДЕЛЬ, ВІЛ-ИНФЕКЦІЯ, ЕПІДЕМІЧНИЙ ПРОЦЕС, ПРОГНОЗУВАННЯ ЕПІДЕМІЧНОГО ПРОЦЕСУ.

D.I. Chumachenko, A.S. Goncharenko Application of intelligent multiagent approach to HIV-infection epidemic process simulation. The article considers the problems of forecasting the epidemic process of HIV infection. To solve this problem, an intelligent multiagent model has been developed. It allows taking into account the factors influencing morbidity, distribution by age categories and risk groups. The model uses statistical data on the real incidence of HIV infection in the Kharkiv region from 2010 to 2016. The intelligent multiagent model is implemented programmatically in the Visual Studio 2013 development environment in the C # programming language. The developed program complex shows high accuracy of the constructed forecast.

INTELLIGENT MULTIAGENT MODEL, HIV-INFECTION, EPIDEMIC PROCESS, FORECASTING OF EPIDEMIC PROCESS

### Введение

Проблема распространения инфекционных заболеваний во все времена являлась чрезвычайно важной. Урбанизация, постоянный рост численности населения Земли, уменьшение общего количества и загрязнение пресной воды на планете — все это факторы, которые в той или иной степени вносят свой «вклад» в появлении все новых, более устойчивых к известным, методам лечения инфекций. Причем темп роста только увеличивается со временем. Данная ситуация приводит к тому, что современная эпидемиология инфекционных заболеваний является одной из самых быстроразвивающихся и наиболее важных наук современности, в масштабах всего человечества.

Эпидемиология инфекционных заболеваний как наука о закономерностях развития и прекращения эпидемического процесса, 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.

ВИЧ-инфекция представляет собой глобальную угрозу для общественного здоровья и социального развития человечества. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на конец 2016 г. в мире насчитывалось примерно 36,7 миллиона человек с ВИЧ-инфекцией, а 1,8 миллиона человек приобрели ВИЧ-инфекцию в 2016 году. В 2016 г. от причин, связанных с ВИЧ, во всем мире умерло 1,0 миллиона человек [1].

Ключевыми группами населения являются группы лиц, подвергающихся повышенному риску инфицирования ВИЧ, независимо от типа эпидемии или местных условий. К таким группам относятся: мужчины, имеющие секс с мужчинами,

лица, употребляющие инъекционные наркотики, лица, находящиеся в местах лишения свободы и других условиях изолированного пребывания, секс-работники и их клиенты, а также трансгендерные лица.

Особенности поведения делают уязвимыми к ВИЧ эти группы населения и затрудняют доступ к программам тестирования и лечения. Использование антиретровирусных препаратов для лечения ВИЧ-инфицированных позволяет увеличить продолжительность жизни, улучшить ее качество и снизить риски передачи инфекции при рискованном поведении.

По данным ВОЗ за период с 2000 по 2016 г. благодаря антиретровирусной терапии (АРТ) в мире было спасено 13,1 миллиона человеческих жизней. Однако, несмотря на эффективность АРТ для длительного сохранения жизни ВИЧ-инфицированных, это заболевание по-прежнему остается пожизненно неизлечимым, что диктует необходимость совершенствования профилактических мер [2].

Для разработки эффективных профилактических программ необходимо выявить ведущие факторы риска, в первую очередь поведенческие, способствующие распространению заболевания. При этом в разных регионах мира и на разных территориях могут превалировать те или иные факторы, что зависит от социально-экономических, культурных, религиозных и других исторически сложившихся особенностей поведения населения конкретного региона или страны. Прогнозирование динамики распространения заболеваемости позволит выявить ведущие факторы риска распространения ВИЧ-инфекции в конкретных условиях. Наиболее эффективным инструментом является имитационная математическая модель, исходными данными для построения которой должны быть данные о заболеваемости и особенностях поведения групп риска той территории, для которой разрабатывается профилактическая программа [3].

### **1. Постановка задачи исследования**

Таким образом в данном исследовании предлагается интеллектуальная мультиагентная модель распространения ВИЧ-инфекции, результатом которой является прогноз динамики заболеваемости. В исследовании использованы данные статистики о заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Харьковской области и результаты анкетирования лиц из групп риска за период с 2010 по 2016 года.

### **2. Интеллектуальное мультиагентное моделирование как подход к прогнозированию эпидемических процессов**

Говоря о математическом моделировании, нельзя не обратить внимания на эволюционный процесс смены парадигм моделирования, который характерен для многих дисциплинарных областей, в которых применяются методы теории

управления. Этот процесс начал рассматриваться в современных научных исследованиях, как «смена поколений» математических моделей, совсем недавно. Тем не менее, сейчас можно говорить уже о трех таких поколениях. На первых этапах речь чаще всего идет о математической записи отдельных фрагментов наблюдений над реальными объектами. Для них характерна простота описаний, типична линейность уравнений и малая размерность (часто воспроизводится всего одна или две переменных). Методы анализа связаны, в основном, с получением аналитических решений и графическим рассмотрением на фазовой плоскости. Следующим этапом являются модели, описывающие объект во всей его полноте – в них объект представлен в виде системы – модель отражает его структуру и законы, по которым он функционирует. Модели становятся существенно нелинейными, чисто математический аппарат дополняется логико-семантическим. Возрастает размерность, достигая нескольких десятков. Такие модели называются «сложными», «большими», а рабочим инструментом на этом этапе становится вычислительный эксперимент. В настоящее время актуальным предметом исследования является переход к третьему поколению математических моделей – моделям виртуального мира. Виртуальное моделирование можно определить, как воспроизведение трехмерного мира компьютерными средствами. Резко возрастает объем обрабатываемой и воспроизводимой информации (например, количество визуализируемых «деталей» достигает нескольких тысяч). В задаче математического моделирования кроме объекта моделирования и модели, обязательно присутствует субъект моделирования, лицо, усилиями и в интересах которого осуществляется модель [4]. Роль субъекта моделирования оказывается решающей, ибо именно его цели, интересы и предпочтения формируют модель.

Именно специфические потребности субъекта моделирования и привели к тому, что от математического моделирования отделилась такая область исследования объектов и построения моделей, как имитационное моделирование. В вышеупомянутых «сложных» моделях виртуальных процессов зачастую присутствуют множество компонентов, которые схожи по своей природе, но различны по поведению. Схожесть означает, что компоненты имеют ряд свойств, которые в моделировании играют роль управляющих параметров. Различие означает же индивидуальность в поведении, то есть в зависимости от значений тех или иных характеристик объектов, каждый компонент которых имеет свою уникальную линию поведения. В таких моделях, как правило, субъектом моделирования является задача прогнозирования поведения группы таких объектов при различных наборах входных (управляющих) параметров.

Описанный выше вид моделирования называется агентным моделированием. Дадим же этому понятию определение. Агентное моделирование

– это метод имитационного моделирования, исследующий поведение всей системы в целом. В отличие от системной динамики аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает в результате деятельности множества агентов.

Агент – это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может поступать в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением и другими агентами, и, в процессе функционирования, может менять свое поведение и учитывать изменение внешней среды [5].

В основе агент-ориентированных моделей лежат следующие основные идеи:

1. Объектная ориентированность.
2. Обучаемость агентов (так называемая эволюция).
3. Сложность вычислений.

Главным объектом, рассматриваемым в агентном подходе, является, понятие агента. Основными свойствами агентов будем считать:

1. Интеллектуальность. Это свойство должно быть умеренным для того, чтобы агенты не могли познать нечто большее, выходящее за рамки правил исследуемой системы.

2. Наличие жизненной цели. Расположение во времени и пространстве. Имеется в виду некоторая «среда обитания», которая может быть представлена как в виде решетки, так и в виде гораздо более сложной структуры. Иногда, результат взаимодействия агентов в «среде обитания» – равновесие, иногда – непрерывающийся процесс эволюции, а иногда – бесконечный цикл без определённого решения.

3. Децентрализация. Агенты не зависят друг от друга, их поведения задается на индивидуальном уровне.

Считается, что агентно-ориентированные модели (АОМ) дополняют традиционные аналитические методы. Последние позволяют нам охарактеризовать равновесие системы, а АОМ позволяют исследовать возможность получения такого состояния. АОМ могут объяснить причину возникновения таких явлений как: террористические организации, войны, обрушения рынка акций и т.д.

Агентная модель, обеспечивающая взаимодействие большого количества частиц, и содержащая в своей основе дискретно-событийную модель, называется мультиагентной моделью. Мультиагентное имитационное моделирование активных систем – это новая концепция интеллектуальных информационных технологий. Она ориентирована на совместное использование моделей и методов естественного и искусственного интеллекта для виртуального исследования, идентификации и прогнозирования состояния и поведения активных систем в заданной среде. Принципиальным отличием новой концепции моделирования является введение и формализация

сенсорных связей (переменных) между взаимодействующими активными элементами динамической системы. На раннем этапе исполнения, мультиагентная модель представляет собой некоторое множество переменных состояний, характеризующее модель, а также список запланированных событий, которые должны произойти в будущем.

### 3. Интеллектуальная мультиагентная модель распространения ВИЧ-инфекции

Для моделирования динамики распространения инфекции был разработан алгоритм, содержащий все принципы агентного моделирования. В качестве болезни была выбрана ВИЧ-инфекция, основным механизмом передачи которой является контактный (половой контакт, контакт с кровью и биологическими жидкостями человека, переливание крови и др.). Это антропонозная инфекция, т.е. передача вируса осуществляется от одного человека другому. [6] Основной идеей метода, является принцип децентрализации агентных моделей. Поведение агентов задается на индивидуальном уровне, а динамика системы определяется как результат взаимодействия множества агентов. На основе агентного подхода разработана имитационная модель распространения инфекции и определены правила взаимодействия агентов [7]. В модели приняты следующие основные допущения: существует вероятность взаимодействия любого агента с любым другим из системы; единицей времени является одна итерация, отсчет времени начинается с нуля итераций, шаг времени равен единице; все агенты разбиваются на типы, для каждого типа объектов определяется система правил [8].

Свойства агента:

- тип агента (благоразумный и неблагоразумный);
- время ближайшего события:  $t$ ;
- возраст агента:  $t\_old$ ;
- локация в которой находится агент:  $current\_location$ ;
- тип ближайшего события (смерть, переход в зараженную зону, переход в безопасную зону или рождение);
- позиция агента в локации;
- статус агента относительно болезни (0 – здоров, 1 – болен, 2 – иммунитет).

Агенты в системе – объекты с общим набором свойств, но индивидуальными числовыми значениями. Они отличаются по типу, каждый из которых имеет свою линию поведения. Правила поведения задаются начальными вероятностями, которые остаются неизменными до окончания работы программы.

Локации представляют собой одномерные динамические массивы, размер каждой задается и максимально может равняться общему количеству агентов в системе. Зоны содержат количество агентов, которые пребывают в них в данный период времени, их номера, ячейки (индексы массива)

с зараженными полями, а также идентификатор «занятости» ячейки. В одном месте локации может находиться не более одного агента.

Система представляет собой динамический массив агентов. В ней задаются все числовые характеристики локаций, такие как геометрические размеры (длина массива), также происходит создание каждого из агентов со своими уникальными наборами свойств.

Свойства системы:

- средний возраст агента: MaxAge;
- количество агентов, обрабатываемое за одну итерацию;
- вероятности (различные для каждого из типов агентов);
- глобальное время системы.

Входные данные делятся на два типа: начальные данные для управления системой и данные описывающие индивидуальные свойства агентов.

Параметры для работы системы: общее количество агентов в системе, количество агентов, обрабатываемое за одну итерацию, количество зараженных зон, максимальный возраст агента.

В данном случае, на уникальные свойства агентов влияют вероятности перехода с одной локации в другую, согласно своему типу:

- HealthyInRisk – будучи здоровым перейти в зону риска;
- SickInRisk – будучи больным перейти в зону риска;
- SickInHosp – согласие на госпитализацию;
- HealthOnHosp – благоприятный исход лечения.

Предлагаемая система относится к категории биоморфных мультиагентных систем и представляет собой наборы агентов с архитектурой

$$Ag_i = (shmP_i, M_i), \quad (1)$$

где  $shm P_i$  – схема агента, определяющая его внутреннюю структуру;  $M_i$  – метод агента, определяющий его поведение.

Начальное положение агента  $current\_location$  равно 0, то есть все агенты находятся в безопасной зоне. При старте работы системы, происходит случайное присвоение типа ближайшего события каждому из агентов, согласно введенным вероятностям, и его времени, в интервале от 0 до MaxAge (в итерациях). Основной идеей, реализовывающей агентный подход, является аппарат событийного моделирования. Это достигается за счет реализации турнирного алгоритма или алгоритма построения хипа (имплицитной кучи). В нем находятся номера (индексы массива) агентов –  $ind\_treat$ . После рандомизации времени и типа ближайшего события, ведется начальное построение кучи. Хип может быть построен только для  $2^m$  объектов. В случае если же общее количество агентов не составляет никакой степени двойки, массив (хип) дополняется фиктивными элементами, время которых заведомо большое. Событийная структура,

в данном случае, служит лишь для слежения за глобальным временем. На вершине хипа оказывается агент с минимальным (т.е. с ближайшим) временем события. Далее осуществляется обработка данного события для агента  $ind\_treat$ , т. е. переход из текущей локации в ту, которая предусмотрена рассматриваемым событием. В свою очередь текущей локацией ( $current\_location$ ), становится локация, в которую перешел агент. Данному агенту присваивается новый тип ближайшего события и новое, случайное время. Затем хип перестраивается заново. Указанная обработка осуществляется при помощи блока  $switch ()$  и условных операторов. Вероятности реализованы применением генерации случайных чисел  $Random ()$ . Так как рандомизация имеет равномерное распределение, то требуемая вероятность достигается за счет генерации случайного числа в пределах от 0 до  $1/P_i$ , где  $P_i$  – конкретная введенная вероятность.

Данные переходы могут повлечь за собой изменение статуса агента. Например, если агент перешел в небезопасную зону на зараженный ее участок, то его статус изменится с 0 на 1, конечно, если он не был болен до этого или не имеет иммунитета.

Зараженные агенты, в зависимости от типа, могут попасть в больницу. Если это условие выполнилось, то с определенной вероятностью пациент может выздороветь, соответственно его состояние перейдет из 2 в 3.

Алгоритм реализует возможность взаимодействия агентов между собой. Каждый раз, когда агент  $ind\_treat$  попадает в новую  $current\_location$ , он будет помещен случайно выбранный индекс в пределах размерности массива, представляющего локацию. Здесь пока не идет речь о незанятости этой ячейки массива. Если же индекс массива оказался свободным, то просто вставляем туда номер текущего агента. В противном случае же происходит взаимодействие агента  $ind\_treat$  с агентом, находящимся по полученному индексу в  $current\_location$ , назовем его  $find\_agent$ . Примеры взаимодействий двух агентов, в зависимости от их статуса отражены в табл. 1.

Таблица 1

Пример взаимодействия агентов

Статус агентов до взаимодействия		Статус агентов после взаимодействия	
$ind\_treat$	$find\_agent$	$ind\_treat$	$find\_agent$
1	0	1	1
1	2	1	2
0	2	0	2
1	1	1	1
0	0	0	0

После взаимодействия агентов, агент  $ind\_treat$ , получает новый индекс для помещения, и обработка перехода в указанную локацию начинается заново.

Программа моделирует взаимодействия агентов между собой и внешней средой, до тех пор, пока не будет подана внешняя команда, означающая остановку процесса.

#### 4. Программная реализация интеллектуальной мультиагентной модели распространения ВИЧ-инфекции

Программная реализация задания выполнена в среде разработки Visual Studio 2013 на языке программирования C#. Разработанный программный продукт, дает возможность спрогнозировать динамику распространения инфекционного заболевания на кратковременный срок, по введенным пользователем начальным данным.

При запуске программы будет открыто окно ввода начальных данных. На верхней панели расположено меню навигации по программе, которое имеет три вкладки: «Начальные данные», «Работа системы» и «График». Пользователь может самостоятельно в любое время переходить из одной вкладки меню на другую, но работать с системой станет возможным только после корректного ввода начальных параметров. При неправильном вводе данных появится соответствующая пиктограмма, при наведении курсора на которую, можно узнать причину и тип ошибки. Некоторые элементы управления могут быть недоступны в тот или иной момент – это значит, что пользователь не произвел необходимых подготовительных действий, о виде которых будет сообщено в поле вывода числовой статистики работы системы, во вкладке «Работа системы». Каждый элемент программного интерфейса имеет подпись, обозначающую назначение конкретного компонента управления. Вкладка меню навигации «Начальные данные» содержит поля для ввода числовых значений начальных параметров. «Работа системы» – вкладка для отображения в реальном времени протекания заболевания. Также там размещены компоненты ручного управления процессом моделирования. Наконец в последней опции меню расположено поле вывода результата моделирования в виде графика функции количества агентов относительно их состояния, зависимой от времени.

На рисунках 1–3 показаны окна данного программного продукта и общее устройство интерфейса с детальными пояснениями к основным элементам управления.

Блоки ввода 3 и 4 на рисунке 1 задают соответствующие числовые параметры для работы модели, согласно введенным пользователем данным. Элемент управления 1 – сохраняет все предварительно введенные параметры, если же в каком-либо поле была допущена ошибка, то рядом появится пиктограмма, предупреждающая об ошибке. Элемент управления 2 – задает параметры по умолчанию, после нажатия можно сразу же увидеть их значения в соответствующих полях. Значения числовых параметров по умолчанию, нельзя

редактировать. Эти данные были специально подобраны для наиболее быстрого и наглядного демонстрация работы программы.



Рис. 1. Окно ввода начальных данных:

- 1 – кнопка сохранения введенных начальных данных;
- 2 – кнопка задать все начальные данные по умолчанию;
- 3 – поля для ввода параметров системы; 4 – поля для ввода управляющих данных агентов

На рисунке 2 показано основное окно работы системы.

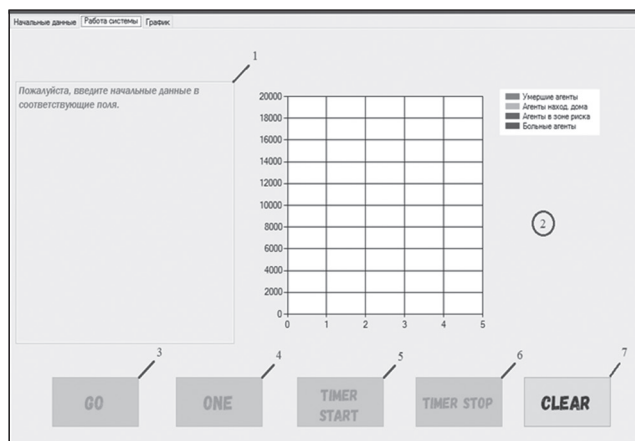


Рис. 2. Окно работы моделируемой системы:

- 1 – поле вывода всей информации о количестве агентов в каждой из локаций; 2 – диаграмма, показывающая в реальном времени числовые результаты работы программы; 3 – кнопка старта моделирования (не активна до введения начальных данных, как и 4, 5, 6);
- 4 – кнопка ручного управления моделированием (одно нажатие соответствует одной итерации);
- 5 – кнопка запуска таймера (автоматическое управление моделированием); 6 – кнопка остановки таймера;
- 7 – кнопка очистки системы для ввода новых управляющих параметров

Во избежание ошибок при работе программы, были введены ограничения на некоторые элементы управления. Точнее все кнопки в тот или иной момент времени могут быть недоступны для использования. Это связано с тем, что пользователь мог некорректно или вообще не ввести начальные данные. Также это может быть связано с тем, что при начале нового моделирования не было остановлено текущее. Подробнее информацию о причине данной ситуации можно найти в поле 1 (рис. 2).

На рисунке 3 проиллюстрировано окно вывода окончательного результата работы моделируемой системы в виде графика.

При помощи данного программного продукта, пользователь может смоделировать и в реальном времени увидеть динамику распространения не только ВИЧ-инфекции, а любого произвольно антропонозного инфекционного заболевания, которое имеет свойство предаваться от человека человеку при контакте (вид контакта не уточняется), на коротко срочный период времени, в соответствии с начальными параметрами, заданными вручную.

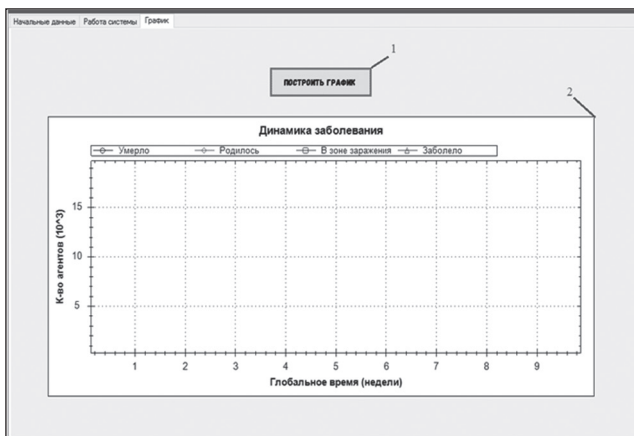


Рис. 3. Окно представления результата:

1 – элемент управления, при помощи которого ведется построение графика по результатам моделирования;  
2 – поле вывода графика

### 5. Результаты моделирования

Для тестирования данного программного продукта, были проверены несколько вариантов входных данных. При каждом наборе параметров программа демонстрировала хорошие временные показатели. Было замечено, что на скорость работы влияют два фактора: общее количество агентов в системе и количество агентов, обрабатываемое за одну итерацию. Максимальное значение этих двух параметров при тестировании достигало 100000.

- общее количество агентов в системе – 20000;
- количество агентов, обрабатываемое за одну итерацию – 10000;
- количество зараженных зон – 18000;
- максимальный возраст агентов – 60 (лет).

Начальные вероятности по перемещению агентов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Числовые значения управляющих параметров

Вероятности	Типы агентов	
	I = 0	I = 1
HealthyInRisk	0.1	0.9
SickInRisk	0.1	0.3
SickInHosp	0.9	0.4
HealthOnHosp	0.5	

Основные результаты, полученные в процессе моделирования, приведены на рисунке 4.

Модель демонстрирует поведение инфекционного заболевания, основным свойством которого есть передача от одного человека другому при контакте. Прогноз выполнен на короткий срок, приблизительно 4 месяца (15 недель). На рисунке 4 видны «всплески» количества заболевших агентов, после чего некоторая часть из них умерла. Эти волны имеют тенденцию к повторению через примерно равные промежутки времени, что проявляется и в реальной жизни. Если продолжить моделирование на более долгий срок, то, несмотря на возрастающую погрешность, можно наблюдать тенденцию к уменьшению количества заболевших в каждый эпидемический период.

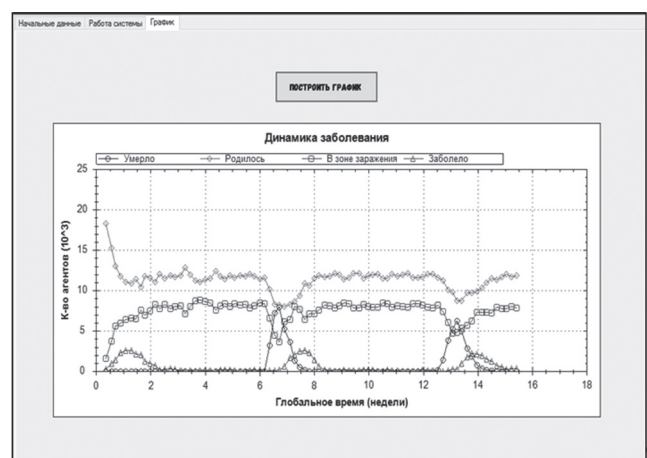


Рис. 4. Результат работы моделирования системы

### Выводы

Предложенный в статье интеллектуальный мультиагентный подход к моделированию эпидемического процесса ВИЧ-инфекции позволяет учитывать факторы, влияющие на заболеваемость, распределение населения по возрастным категориям и группам риска. Для проверки адекватности разработанной интеллектуальной мультиагентной модели использована статистика о реальной заболеваемости по Харьковской области 2010 – 2016 гг.

На основе построенной мультиагентной модели, в среде Visual Studio 2013 на языке программирования C# разработан программный комплекс, который позволяет рассчитать прогноз заболеваемости ВИЧ-инфекцией на короткий срок (15 недель). Предложенный в статье подход позволит выявить основные факторы, влияющие на эпидемический процесс ВИЧ-инфекцией, а также разработать эффективные превентивные меры по снижению уровня заболеваемости.

**Список литературы:** 1. WHO. HIV/AIDS Fact sheet, July 2017. [online] Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs360/en/> 2. Global AIDS Update. UNAIDS report. 2016 [online] 16 p. Available at: <http://www.who.int/hiv/pub/arv/global-aids-update-2016-pub/en/> 3. Chernyshev Y., Chumachenko D., Tovstik A. Development of intelligent agents for

simulation of hepatitis B epidemic process // Proceedings of East West Fuzzy Colloquium 2013 (20<sup>th</sup> Zittau Fuzzy Colloquium, September 25 – 27, 2013). – Institut für Prozesstechnik Prozessautomatisierung und Messtechnik, 2013. – P.161–168. **4.** Чумаченко Д.І., Чумаченко Т.О. Інформаційна технологія епідеміологічного нагляду // Інформаційні технології та інновації в економіці, управлінні проектами і програмами: [монографія] / за заг. ред. В.О. Тимофєєва, І.В. Чумаченко. – Харків: ФОП Панов А.М., 2016. – С.368–379. **5.** Santos F.S., Ortega N.R.S., Zanetta D.M.T., Massad E. Fuzzy Dynamical Model of Epidemic Spreading Taking into Account the Uncertainties in Individual Infectivity // Advances in Technological Applications of Logical and Intelligent Systems. – IOS Press, 2009. – P. 180-193. **6.** Jafelice R.M., de Barros L.C., Bassanezi R.C., Gomide F. Fuzzy modeling in symptomatic HIV virus infected population // Bulletin of Mathematical Biology. Volume 66. Issue 6. – Springer, 2004. – P. 1597-1620. **7.** Chumachenko D., Chumachenko T. Agent-based investigation of sexually transmitted infection // Online Journal of Public Health Informatics, 9(1):e60, 2017. <http://ojphi.org/ojs/index.php/ojphi/article/view/7638/6159> **8.** Chumachenko D., Chumachenko T. Agent-Based Model of the Epidemic Process of Diseases with Multiple Routes of Infection Transmission Development and Evaluation // International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering (IJRSCSE), Volume 3, Issue 5. – India: ARC Publications Private Limited, 2016. – pp. 20-24.

## Resume

### D.I. Chumachenko, A.S. Goncharenko APPLICATION OF INTELLIGENT MULTIAGENT APPROACH TO HIV-INFECTION EPIDEMIC PROCESS SIMULATION

**Background:** The problem of spreading the epidemic incidence is an important social and economic problem of modern society. HIV infection is a global threat to public health and the social development of humanity. Mathematical modeling is able to adequately assess the prognosis morbidity and help identify effective antiepidemic measures to counteract infection.

**Materials and methods:** The article considers an intelligent multiagent approach to the modeling of dynamic systems. It is used to predict the spread of the incidence of HIV infection, taking into account the characteristics of the epidemic process and based on real statistics on the Kharkov region from 2010 to 2016.

**Results:** An intelligent multiagent model of spreading the incidence of HIV infection has been developed. The software implementation of the model is performed in the Visual Studio 2013 environment in the C # programming language. The developed software allows calculating the short-term forecast of the dynamics of the epidemic process. To test the adequacy of the constructed forecast, statistical data on the actual incidence of HIV infection in the Kharkiv region from 2010 to 2016 were used.

**Conclusions:** The intelligent multi-agent approach to modeling the epidemic process of HIV infection suggested in the article allows calculating the predictive morbidity with high accuracy. Also, to identify the factors most influencing the dynamics of the epidemic process, which will allow to develop effective preventive measures to prevent the HIV epidemic in a given territory.

*Поступила в редколлегию 14.09.2017*