

Аль–Азази Амин Ахмед

Al-Azazi Amin Ahmed

Тверской государственный технический университет

Tver State Technical University

Аспирант / graduate student

E-Mail: aminshic@yahoo.com

Скворцов Андрей Викторович

Andrey Skvortsov

Тверской государственный технический университет

Tver State Technical University

Доцент / associate professor / к.т.н

Масленников Борис Иванович

Boris Maslennikov

Тверской государственный технический университет

Tver State Technical University

Декан заочного отделения Тверского государственного университета

Dean of the correspondence department of Tver State University

Профессор, д.т.н

Автоматизация и управление технологическими процессами

Средства any logic для построения моделей системной динамики

Tools for construction of any logic system dynamics models

Аннотация: Парадигма компьютерного моделирования, при которой для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие параметры во времени, а затем модель, созданная на основе этих диаграмм, имитируется на компьютере, получила название системная динамика. Графическая нотация для моделирования всех компонентов системы и их взаимосвязей делают системную динамику очень удобным инструментом визуального представления всей системы, организации в целостном виде. Системная динамика представляет сегодня парадигму, метод и графический язык для представления моделей сложных систем, а также для их имитационного компьютерного выполнения. Одним из важнейших элементов проблемно-ориентированных *систем поддержки принятия решений (СППР)* в здравоохранении являются компьютерные имитационные модели управляемых процессов. Таким образом, важной задачей является разработка имитационной модели совместного распространения туберкулёза и ВИЧ-инфекции, а также реализация, позволяющая разрабатывать на её основе СППР фтизиатрической службы.

The Abstract: The paradigm of computer simulation, in which for the system being built graphical charts causality and global influence of some parameters on the other parameters in time, and then the model constructed on the basis of these diagrams, simulated on a computer, called the system dynamics. Graphical notation to model all components of the system and their relationships using system dynamics very convenient tool visual representation of the entire system, the organization in a holistic way. System dynamics is today a paradigm, method, and graphical language for representing models of complex systems, as well as their computer simulation run. One of the most important elements of the problem-oriented decision support systems (DSS) in health

care are computer simulations of control processes. Thus, an important task is to develop a simulation model of joint TB and HIV infection, as well as implementation, allowing it to develop on the basis of DSS TB services.

Ключевые слова: Медицина, математика, информационная система, имитационная модель, моделирование.

Keywords: Medicine, mathematics, information systems, simulation model, simulation.

Одним из важнейших элементов проблемно-ориентированных *систем поддержки принятия решений (СППР)* в здравоохранении являются компьютерные имитационные модели управляемых процессов. В работе [1] описана динамическая модель распространения туберкулёза в условиях региона России и её программная реализация. В последнее время важнейшим фактором, влияющим на распространение туберкулёза является ВИЧ-инфекция [ссылка]. Существующие медицинские СППР основаны на моделях, не учитывающих эту связь [2].

Таким образом, важной задачей является разработка имитационной модели совместного распространения туберкулёза и ВИЧ-инфекции, а также реализация, позволяющая разрабатывать на её основе СППР фтизиатрической службы.

Как известно, для моделирования причинно-следственных связей между параметрами системы и их взаимного влияния применяется парадигма системной динамики [3-5].

На рис.1 изображена структура предлагаемой нами модели распространения эпидемии туберкулёз-ВИЧ.

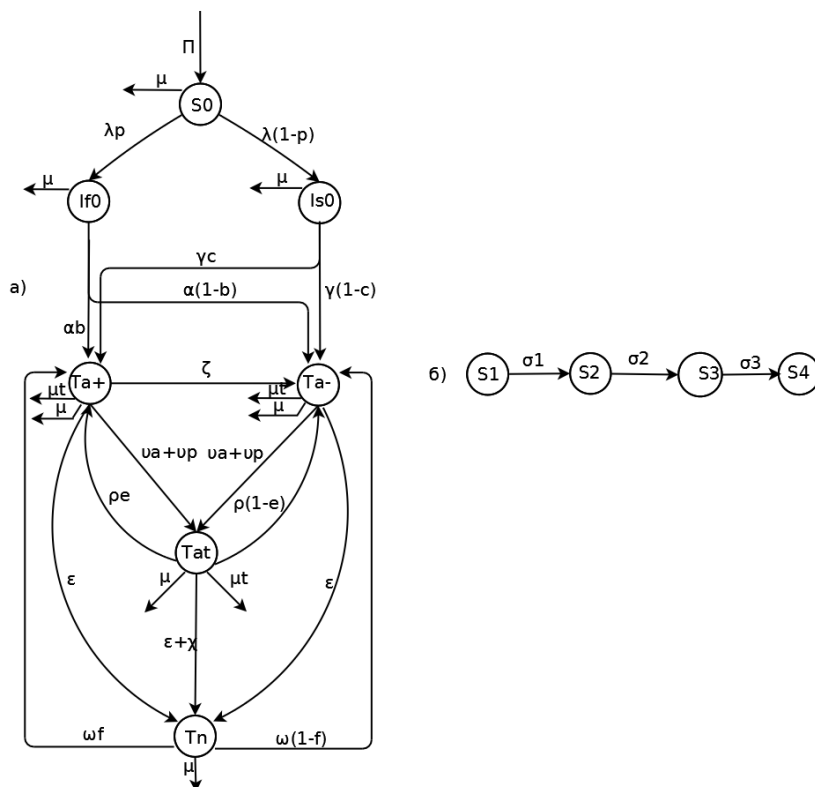


Рис. 1. Граф переходов модели распространения эпидемии а) туберкулёз, б) ВИЧ

Где, S - группа здоровых восприимчивых к заболеванию; I_f - группа инфицированных с быстрым прогрессом заболевания; I_s - Группа инфицированных с медленным прогрессом заболевания; $Ta+$ - Группа невыявленных больных с бактериовыделением; $Ta-$ - Группа невыявленных больных без бактериовыделения; Tat - Группа выявленных больных; Tn - Группа неактивного ТБ; α - Вероятность заболевания в группе с быстрым прогрессом; λ - Вероятность инфицирования здорового члена популяции; γ - Вероятность заболевания в группе с медленным прогрессом; ε - Вероятность самопроизвольного выздоровления больных; ζ - Вероятность самопроизвольного прекращения бактериовыделения; μ - Вероятность естественной смерти; μ_t - Вероятность смерти от туберкулёза; ρ - Вероятность самовольного прекращения лечения; ν_a - Вероятность активного выявления случая туберкулёза; ν_p - Вероятность пассивного выявления случая туберкулёза; χ - Вероятность эффективного лечения; ω - Вероятность рецидива активного ТБ у выздоровевших; b - Доля ТБ с МБТ+ среди заболевших из группы I_f ; c - Доля ТБ с МБТ+ среди заболевших из группы I_s ; e - Доля ТБ с МБТ+ среди прекративших лечение; Π - Скорость появления новых восприимчивых к популяциям; f - Доля ТБ с МБТ+ среди случаев рецидива; p - Доля лиц с быстрым прогрессом инфекции среди инфицированных; $\delta_{1,2,3}$ - Скорость перехода с одной стадии СПИДА в другую; $S_{1,2,3,4}$ - обозначают стадии ВИЧ.

На рис.2. Приведена схема реализации описанной модели с использованием пакета имитационного моделирования AnyLogic. Переменные состояния, определяющие количества людей на разных стадиях болезни, являются накопителями в терминах системной динамики. Они определяются в модели AnyLogic как переменные вида "Интеграл или накопитель". Интенсивности переходов индивидов между состояниями являются вентилями и определены как переменные, заданные формулами. Вспомогательные переменные системной динамики задаются переменными AnyLogic. Параметрами модели могут также являться константы.

Отношения между параметрами автоматически вычисляются и отображаются на графической схеме модели.

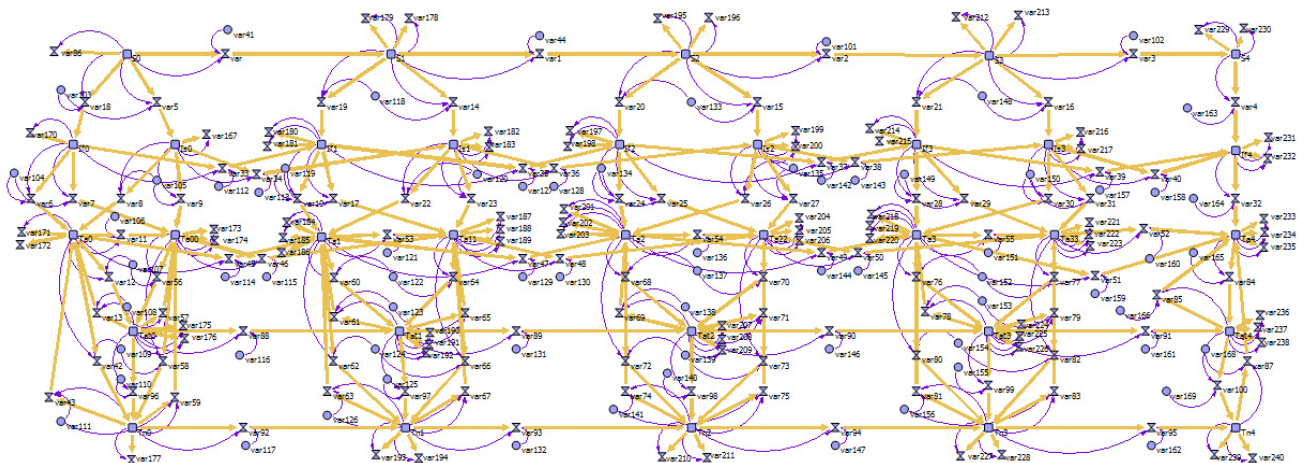


Рис. 2. Модель AnyLogic развития эпидемии туберкулёз-ВИЧ

Построение моделей системной динамики в AnyLogic удобно выполнять в два этапа. На первом в поле редактора помещаются все переменные, а на втором этапе для каждой переменной определяется ее вид и конкретная функциональная зависимость с помощью мастера функций — выпадающего окна, в котором появятся кроме стандартных функций еще имена переменных и параметров данного объекта, которые к этому времени были определены.

При начальных значениях переменных[6]:

| Параметр | ВИЧ 0 | ВИЧ-I | ВИЧ-II | ВИЧ-III | ВИЧ-IV |
|---------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------|
| b | 0,4-0,7 | 0,4-0,7 | 0,5-0,8 | 0,6-0,9 | 1 |
| c | 0,3-0,5 | 0,3-0,5 | 0,4-0,6 | 0,6-0,8 | 1 |
| e | 0,4-0,5 | 0,4-0,5 | 0,5-0,6 | 0,7-0,8 | 1 |
| f | 0,5-0,7 | 0,5-0,7 | 0,6-0,8 | 0,7-0,9 | 1 |
| p | 0,05-0,3 | 0,05-0,3 | 0,3-0,5 | 0,4-0,8 | 1 |
| ε , лет | 0,021-0,086 | 0,01-0,065 | 0,001-0,006 | 0,0002- 0,0003 | 0 |
| μ , лет | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| μ ,лет | 0.116 | 0.116 | 0.231 | 0.4 | 1 |
| μ_{hiv} ,лет | - | - | - | 0.4 | 1 |
| λ | 0,0026-0,0053 | 0,0026-0,0053 | 0,0036- 0,0073 | 0,0078- 0,0159 | 1 |
| ρ | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| γ | 0,0026-0,0053 | 0,0026-0,0053 | 0,0036- 0,0073 | 0,0078- 0,0159 | 0,013- 0,0265 |
| Π | 0,08-0,165 | - | - | - | - |
| β | - | 0,005-0,016 | 0,0103-0,014 | 0,001-0,003 | 0,006-0,015 |
| ω | 0,0007-0,015 | 0,0007-0,015 | 0,0017-0,025 | 0,7-0,9 | 0,9-1 |
| α | 0,8-0,95 | 0,8-0,95 | 0,8-0,95 | 0,9-1 | 1 |
| ζ | 0,086-0,102 | 0,086-0,102 | 0,26-0,52 | 0,6-0,8 | - |

модель в AnyLogic можно запустить на выполнение, в результате чего получим график динамики поведения всей системы (рис.3).

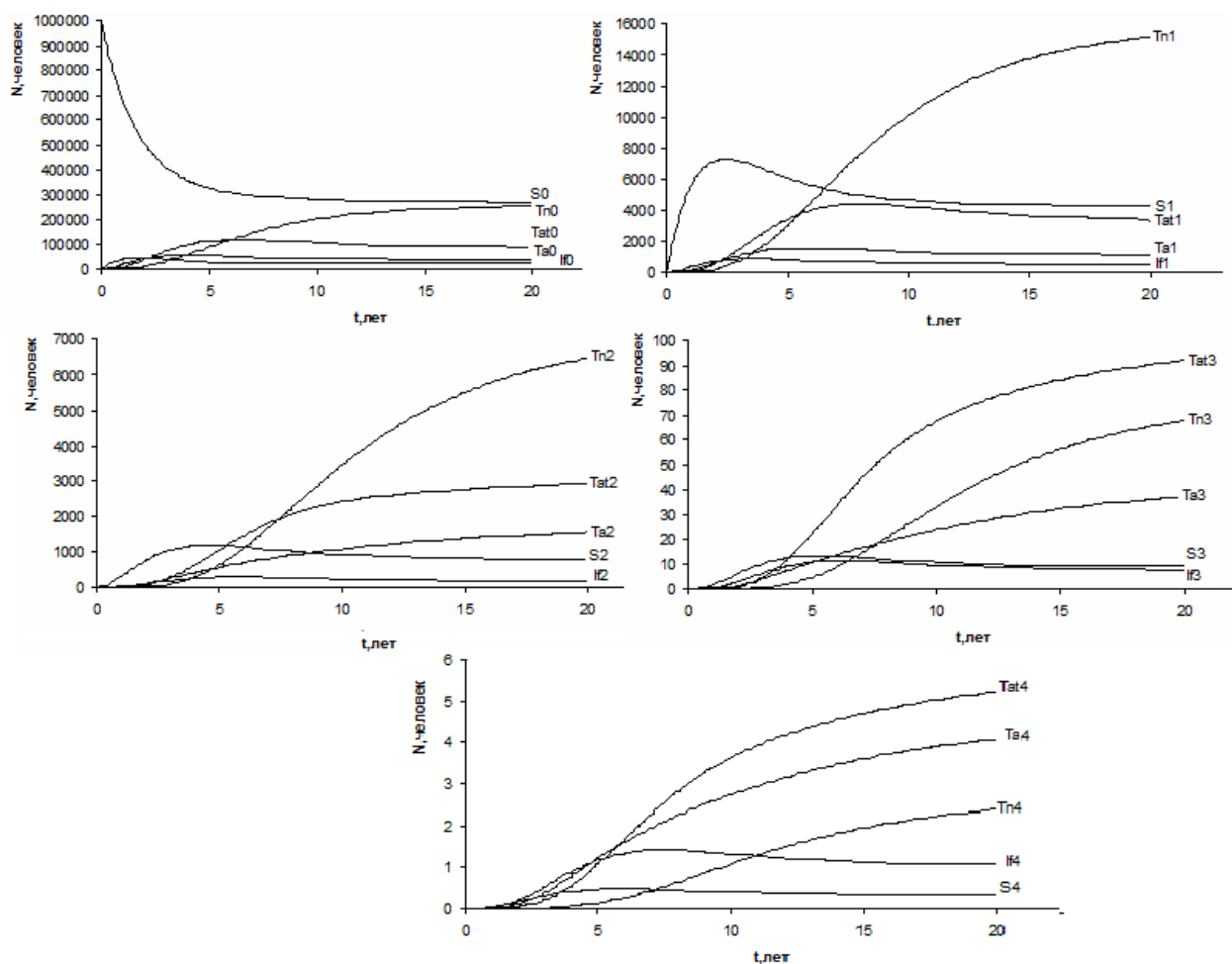


Рис. 3. Результат выполнения модели динамики заболевания туберкулёза-ВИЧ

Результаты выполнения модели показывает, что при отсутствии ВИЧ-инфекции число заболевших туберкулезом Tat_0 меньше чем числа выздоровевших Tn_0 и восприимчивых S_0 . Задержка между Tat_0 и Tn_0 составляет 1 год. На первой стадии ВИЧ число заболевших туберкулезом Tat_1 меньше чем числа выздоровевших Tn_1 и восприимчивых S_1 . Задержка между Tat_1 и Tn_1 составляет 1 год. На второй стадии ВИЧ число заболевших туберкулезом Tat_2 меньше чем число выздоровевших Tn_2 , но больше чем число восприимчивых S_2 . Задержка между Tat_2 и Tn_2 составляет 1 год. На третьей стадии ВИЧ число заболевших туберкулезом Tat_3 больше чем числа выздоровевших Tn_3 и восприимчивых S_3 . Задержка между Tat_3 и Tn_3 составляет 1 год. На последней стадии ВИЧ число заболевших туберкулезом Tat_4 в 2 раза больше чем число выздоровевших Tn_4 . Задержка между Tat_4 и Tn_4 составляет 1 год.

Таким образом, результаты реализации разработанной авторами динамической модели распространения и контроля туберкулёза-ВИЧ в программе Anylogic5 показывают, что, с одной стороны, воздействие ВИЧ может как минимум удвоить силу вспышек туберкулеза, и, с другой стороны, что на эпидемию туберкулеза в регионах с высокой распространенностью ВИЧ можно воздействовать, сдерживая или снижая распространенность ВИЧ.

К преимуществам разработки системно-динамических моделей в среде AnyLogic по сравнению с использованием универсальных языков программирования, следует отнести использование графической нотации моделей, автоматическое определение зависимостей между параметрами, а также их классифицирование в терминах системной динамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцов А.В., Масленников Б.И. Математическое обеспечение медицинской информационной системы Программные продукты и системы, Международное научно-практическое приложение к международному журналу «Проблемы теории и практики управления» № 4 2008 г. с158-160.
2. Скворцов А.В., Масленников Б.И., Васильев В.Г., Хованов А.В. Система поддержки принятия решений противотуберкулёзной службы. Вестник Тверского государственного технического университета, выпуск 14, 2009.
3. Jay W. Forrestter. Industrial dynamics. Productivity press. Portland Oregon, 1961.
4. Д. Ю. Каталевский. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении, 2011.
5. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 400 с.
6. Регионы России. Основные характеристики субъектов РФ. Статистический сборник. Росстат. Москва, 2004.

Рецензент: Дмитриев Г. А., зав. Кафедрой Автоматизации технологических процессов Тверского государственного технического университета, Д.Т.Н. профессор.