

УДК 001.891.573:616-036.22

СОЦИАЛЬНАЯ ИНФОРМАТИКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭПИДЕМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*П.П. Рыжко, Ю.А. Ищейкина, К.Е. Ищейкин,
А.Ю. Соколов, Л.В. Рощенюк*

Медицинская академия последипломного образования, Харьков
Областной клинический кожно-венерологический диспансер, Харьков
Украинская медицинская стоматологическая академия, Полтава
Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Ключевые слова: моделирование, социальная информатика, математическая эпидемиология.

Исходя из современных подходов к решению проблем в медицине, развитие систем диагностики заболеваний должно базироваться на применении не только новых медицинских методик, но и на активном использовании новых информационных технологий для установления причинно-следственных связей между параметрами исследуемых процессов, позволяющих строить адекватные математические модели.

Применение методов социальной информатики и математической эпидемиологии позволит решать задачи моделирования заболеваний, определения наиболее значимых факторов с целью выработки эффективных решений по локализации как самих заболеваний, так и устранению порождающих их причин, а также способствующих их развитию.

С точки зрения социальной информатики и математической эпидемиологии постановка задачи исследования заключается в математическом моделировании процессов распространения заболеваний.

В последнее время в мире наблюдается повышенный интерес к математической эпидемиологии в связи с необходимостью моделировать и прогнозировать распространение различных эпидемий. Такие модели включают и экономический компонент, позволяющий оценить негативный эффект эпидемии не только на состояние здоровья, но и экономику предприятия, отрасли, отдельно взятой территории или страны в целом, тесно взаимосвязанных социально-медицинскими причинно-следственными явлениями.

Поэтому актуальной является проблема разработки новых моделей и методов социальной информатики и математической эпидемиологии и их интеграция в сферу медицинских исследований с целью повышения эффективности проводимого лечения, профилактики заболеваний и улучшения демографических показателей.

В этом ключе развитие методов моделирования сложных слабоформализованных процессов (СФП), к которым, без сомнения, относится распространение инфекций, эпидемий и других явлений популяционной динамики, основано на применении различного рода моделей, отражающих ре-

альную картину с требуемой в исследованиях точностью. Очевидно, что эти модели должны быть приспособлены к естественному для лица, принимающего решения (ЛПР), языку, а также иметь возможность моделировать субъективные методы преобразования информации.

Модели социальных наук, биологии, медицины и экологии часто оказываются чрезвычайно сложными. Их описывают большим количеством трудно определяемых переменных, взаимосвязанных между собой [9]. Нередко для решения таких задач приходится делать довольно сильные упрощающие допущения. Если их сформулировать в математических терминах, то удастся избежать многих двусмысленностей естественного языка и воспользоваться мощью математических рассуждений. Процедура, переводящая предположения о проблеме, ситуации или явлении в математические выражения и затем анализирующая проблему с помощью математических средств, называется математической моделью [7].

Модели сложных слабоформализованных процессов можно разделить на прескриптивные и дескриптивные [1]. Прескриптивная модель описывает, как некоторое лицо, группа, общество должны были бы вести себя в некоторой идеализированной ситуации; дескриптивная — как себя ведут в действительности.

Таким образом, если предпочтения, или выбор, исследуются на основе прескриптивного подхода, то аксиомы, которые формулируют необходимые и достаточные условия возможности измерения или шкалирования предпочтений, должны интерпретироваться как условия «рациональности», причем ожидается, что предпочтения «рациональной» личности, группы, общества будут соответствовать правилам, заданным в этих аксиомах. С другой стороны, если предпочтения, или выбор, изучаются на базе дескриптивного подхода, то эти условия считаются проверяемыми, и они должны сравниваться с исходными данными (о том, как лицо, группа, общество или организация осуществляют выбор).

Кроме математических моделей, для описания неопределенностей в СФП используются также

нематематические. Например, можно смоделировать процесс с помощью физической модели. Часто объекта представляют в графическом виде. С помощью этих и других типов моделей возможны моделирование и анализ социальных и биологических явлений, связанных с экологией и охраной окружающей среды [10, 11].

Анализ многих важных для общества проблем, в частности экологических, приводит к построению чрезвычайно сложных моделей с большим количеством переменных, взаимодействующих друг с другом, реагирующих на изменения каждой другой переменной [11].

Многие слабоформализованные процессы в социальной сфере представляют в виде причинно-следственных отношений, которые можно выразить в виде графовых моделей взаимодействия [6]. Наиболее существенные процессы для рассматриваемой проблемы представляются вершинами графа. От вершины u к вершине v проводится дуга, если изменение u оказывает непосредственное существенное воздействие на v .

Граф называется знаковым ориентированным, если дуга имеет знак плюс, когда воздействие «усиленное» (при прочих равных условиях увеличение u приводит к увеличению v и уменьшение u — к уменьшению v), и знак минус — если воздействие вызывает «торможение» (при прочих равных условиях увеличение u приводит к уменьшению v и уменьшение u — к увеличению v).

Примером такого описания может служить граф для анализа проблемы заболеваемости в случае микотической инфекции или атопического дерматита (АД), как одной из значимых проблем в дерматовенерологии [4, 5, 12].

Часть вершин графа (характеристик исследуемой предметной области) служит для управления эпидемическим процессом. Задавая динамику изменения указанных вершин, с помощью знакового орграфа исследователь может моделировать изменения во всех остальных вершинах-состояниях.

Модели СФП в виде знаковых ориентированных графов содержат много упрощений. В частности, воздействия некоторых параметров на другие могут быть разной силы. Модель в виде знакового орграфа предполагает все воздействия одинаковыми по силе, поскольку вес на каждой дуге имеет равное (единичное) значение. Более обоснованно приписывать дугам (u, v) разный вес $w(u, v)$. В этом случае граф трансформируется во взвешенный орграф. Такой вес интерпретируется как относительная сила воздействия одной вершины на другую. Вес может быть как положительным, так и отрицательным, что определяет «тормозящие» и «усиливающие» воздействия.

Следующий тип моделей ориентированных графов образует так называемые функциональные знаковые орграфы. В этом случае каждой дуге графа приписывается функция $f(u, v)$ уровней переменных u и v , где функция f интерпретируется как сила воздействия u на v , если u и v принимают значения определенного уровня.

Использование же нечеткой логики в качестве модели сложной системы, а именно модели взаи-

мосвязи характеристик в ориентированном графе позволит ввести в дуги отображения характеристик намного более сложные, чем простые знаковые, взвешенные или функциональные орграфы, то есть обобщенные теоретико-множественные отображения типа:

$$R: u \rightarrow v.$$

При этом структура этих отображений может иметь вид продукционных правил вида:

$$R: \text{если } u = NB, \text{ то } v = ZE,$$

где переменные u и v принимают значения из определенного множества лингвистических переменных (например, NB — negative big, NS — negative small, ZE — zero, PS — positive small, PB — positive big).

С помощью продукционной модели представляется возможным описывать не только дуги, связывающие переменные, а все входные дуги, влияющие на значение той или иной переменной.

С помощью продукционных правил можно описывать не только абсолютные изменения значений в вершинах графа, но и скорости исследуемых процессов. Тогда модель будет содержать два типа отображений: статические и динамические. Каждый из них можно задавать в виде продукционных отображений нечетких множеств.

Еще одно направление учета неопределенности в моделировании сложных СФП является включение в четкую математическую модель неопределенных факторов.

Как утверждает К. Негойце, точное описание любого реального процесса принципиально невозможно [8]. Исторически одним из первых методов учета неопределенности в уравнениях модели являлось применение случайных величин [2]. При этом допускалось, что точно известны вероятностные распределения, которые можно проверить по прошлым наблюдениям. Тем самым вводилось достаточно жесткое ограничение на использование стохастического моделирования — необходимость знания точных распределений случайных величин. В реальной практике управления сложными процессами это ограничение выполняется крайне редко, а иногда и вообще затруднительно, поскольку невозможно проводить много экспериментов.

Следующим направлением моделирования СФП в условиях неполной информации стало использование интервального моделирования [15, 16], когда на значения параметров вводятся допущения в виде интервалов числовой оси. Интервальное моделирование достаточно удобный инструмент, позволяющий человеку выразить свое представление о возможных изменениях того или иного параметра исследуемой системы. Однако о том, как внутри интервала распределяются предпочтения возможных значений, интервальная модель не дает представления.

Поэтому для учета влияния предпочтений внутри интервала СФП представляется возможным моделировать с помощью аппарата нечетких множеств. Как утверждал автор теории нечетких множеств Л. Заде [3], нечеткое множество можно уподобить

саквоюжу, имеющему мягкие стенки, а каждому предмету, помещаемому в него, указать число, характеризующее степень легкости, с которой этот предмет можно поместить в саквоуж.

В процессе применения нечетких множеств в моделировании и управлении сложными процессами необходимо решить ряд задач, а именно: обоснование выбора логических систем, определяющих отображения, а также выбор методов фазификации и дефазификации, являющихся интерфейсом между нечеткой системой управления и управляемым процессом.

Проблема клинико-эпидемиологических особенностей всевозможных известных болезней, в том числе их микст-форм в настоящее время является медико-социальной. Ее значимость в патологии человека определяется следующими факторами и причинами, способствующими их распространению:

- мировой распространенностью;
- необычайной частотой;
- этиологической и нозологической гетерогенностью (патологические изменения в диапазоне от поверхностных и безвредных до тяжелых и опасных для жизни);
- терапевтической устойчивостью;
- физиологическими (старение, беременность и лактация, состояние новорожденности);
- состоянием иммунодепрессии вследствие неполноценного питания (недостаток белков, витаминов, микроэлементов и др.);
- склонностью к рецидивам;
- длительным применением иммунодепрессантов, антибактериальных препаратов, антимаботов, цитостатиков, облучения, что приводит к развитию инфекционных болезней, вызванных вирусами, бактериями, грибами [4, 5, 12].

Состояние здоровья современного человека характеризуется двумя особенностями: снижением иммунологической реактивности и, как следствие, повышением острой и хронической заболеваемости, связанной с развитием патогенных и условно-патогенных микроорганизмов.

Современная диагностика позволяет поставить этиологический диагноз и дает возможность врачу своевременно назначить адекватную этиотропную и патогенетическую терапию. Однако существуют большие трудности в правильной идентификации возбудителя, особенно при микс-инфекциях. Это весьма существенный момент, поскольку разные возбудители инфекционных болезней обладают разными фактами агрессии, характеризующими их патогенность. С другой точки зрения, реализация агрессивных свойств условно-патогенных воз-

будителей возможна при снижении защитных свойств макроорганизма, регулируемых функциональным состоянием иммунокомпетентных клеток различного уровня, эндокринной и других систем.

Особую значимость в эскалации любой инфекции приобретают: интенсификация программ полихимиотерапии и трансплантация костного мозга и других органов; состояние иммуносупрессии, обусловленное иными многочисленными причинами, длительное использование комбинированной антибактериальной терапии и нарушение естественного микробиоценоза при проведении диагностических и лечебных процедур с использованием инвазивных методов [5,12].

Цель исследования — разработка математической модели взаимосвязи характеристики как инфекционной, так и неинфекционной патологии и методов популяционной динамики для исследования эффектов профилактических вмешательств.

Задачи исследования:

- построение продукционных моделей с использованием нечетких множеств, отражающих причинно-следственные отношения между параметрами системы;
- разработка методики построения нечетких продукционных моделей по экспериментальным данным;
- разработка методики построения динамических моделей развития эпидемиологической обстановки в классе нечетких продукционных моделей;
- разработка метода прогнозирования динамики развития заболевания;
- разработка методики оценки устойчивости и управляемости в условиях хаотического развития эпидемического процесса;
- применение предложенной модели и метода при решении задач распространения эпидемии в конкретной популяции и территории;
- разработка методических рекомендаций оценки эффективности лечения на основе применения моделей и методов социальной информатики и математической эпидемиологии.

Выводы

Таким образом, разработка на основе методических рекомендаций математической модели взаимосвязи причинно-следственных факторов, влияющих на заболеваемость как инфекционного, так и неинфекционного генеза и методов популяционной динамики, направленных на сдерживание их распространения, позволяет прогнозировать эпидемическую ситуацию и разрабатывать профилактические мероприятия по изучаемой патологии.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Крумберг О.А. и др. Методы и модели принятия решений на основе лингвистической переменной.— Рига: Знание, 1982.— С. 256.
2. Джонсон С. Теория регуляторов, приспособляющихся к возмущениям // К.Т. Леондес. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах.— М.: Мир, 1980.— С. 253—320.
3. Заге Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Пер. с англ.— М.: Мир, 1976.— С. 165.
4. Каложная Л.Д. Кому заниматься проблемой атопического дерматита // Дерматол. и венерол.— 2003.— № 1 (19).— С. 8—10.
5. Коляденко В.Г., Заплавская Е.А. «Ахиллес-проект Украины-99 завершился» Грибковые заболевания ногтей — проблема общемедицинская и социальная.— К., 2001.— Т. 1.— С. 15—19.
6. Мелихов А.Н. Ориентированные графы и конечные автоматы.— М.: Наука, 1971.— С. 416.
7. Месарович М., Такахага Я. Общая теория систем: математические основы: / Пер. с англ.— М.: Мир, 1978.— С. 312.
8. Негойцэ К. Применение теории систем к проблемам управления / Пер. с англ.— М.: Мир, 1981.— С. 180.
9. Образцов И.Ф., Ханин М.А. Оптимальные биомеханические системы.— М.: Медицина, 1989.— С. 272.
10. Осис Я.Я., Гельфандбейн Я.А., Маркович З.П., Новожилова Н.В. Диагностирование на граф-моделях: на примерах авиационной и автомобильной техники.— М.: Транспорт, 1991.— С. 244.
11. Робертс Фред С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам / Пер. с англ.— М.: Наука, 1986.— С. 494.
12. Руденко А.В., Коваль Э.З., Рыжко П.П., Заплавская Е.А. Онихомикозы у жителей Украины. Диагностика. Этология. Эпидемиология. Лечение.— К.: ООО «ТСК».— 2001.— С. 7.
13. Соколов А.Ю. Построение, идентификация и анализ устойчивости линейных лингвистических систем управления // Проблемы управления и информатики.— 1998.— № 5.— С. 129—137.
14. Соколов А.Ю. Алгебраическое моделирование лингвистических динамических систем // Проблемы управления и информатики.— 2000.— № 2.— С. 141—148.
15. McDermott J. R1.— P. A rule-based configure of computer systems // Artificial Intelligence.— 1981.— Vol. 19.— P. 39—88.
16. Turksen I. Interval valued fuzzy sets based on normal forms // Fuzzy Sets and Systems.— 1986.— Vol. 20, N 3.— P. 191—210.

СОЦІАЛЬНА ІНФОРМАТИКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕПІДЕМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

П.П. Рижко, Ю.А. Іщейкіна, К.Є. Іщейкін, О.Ю. Соколов, Л.В. Рощенюк

Розглянуто проблему математичного моделювання процесів поширеності захворювань. Математичні моделі дають можливість прогнозувати епідемічну ситуацію і розробляти профілактичні заходи щодо досліджуваної патології.

SOCIAL INFORMATICS OF THE MATHEMATIC MODELS OF THE EPIDEMIC PROCESS IN MEDICINE

P.P. Ryzhko, U.A. Esheykina, K.Y. Esheykin, A.Y. Sokolov, L.V. Roshenyuk

Problem of the various mathematic modeling of diseases prevalence is considered. Mathematic models give possibility to make prognosis of the epidemic situation and to develop prophylactic for the investigated pathology.